

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 110

INSTITUT d'HYDROLOGIE de LYON

GÉOLOGIE

et

**SOURCES MINÉRALES ET THERMALES
DE LA SAVOIE**

SOURCE DE L'ÉCHAILLON EN MAURIENNE
(examen des eaux et des sédiments)

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 6 Juillet 1925

PAR

André GIRARD

Pharmacien de 1^{re} classe

Ex-Interne des Hôpitaux de Lyon

né à PONT-DE-BEAUVOISIN (Savoie) le 18 novembre 1893



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-53

1925

**GÉOLOGIE ET SOURCES MINÉRALES ET THERMALES
DE LA SAVOIE-SOURCE DE L'ECHAILLON EN MAURIENNE
EXAMEN DES EAUX ET DES SEDIMENTS**



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553425_0102

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 110

INSTITUT d'HYDROLOGIE de LYON

GÉOLOGIE

et

**SOURCES MINÉRALES ET THERMALES
DE LA SAVOIE**

SOURCE DE L'ÉCHAILLON EN MAURIENNE

(examen des eaux et des sédiments)

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 6 Juillet 1925

PAR

André GIRARD

Pharmacien de 1^{re} classe

Ex-Interne des Hôpitaux de Lyon

né à PONT-DE-BEAUVOISIN (Savoie) le 18 novembre 1889



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-56

1925

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. H. HUGOUNENQ
Doyen	M. J. LEPINE.
Assesseur	M. ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, FLORENCE (A.), TEISSIER.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. BARD.
Cliniques chirurgicales	ROQUE.
Clinique obstétricale et Accouchements.....	TIXIER.
Clinique ophtalmologique	BERARD.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	COMMANDEUR.
Clinique neurologique et psychiatrique.....	ROLLET.
Clinique des maladies des enfants.....	NICOLAS.
Clinique des maladies des femmes.....	LEPINE (J.).
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	MOURICQUAND.
Clinique des maladies des voies urinaires.....	VILLARD.
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie.....	LANNOIS.
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	ROCHET.
Chimie biologique et médicale.....	NOVE-JOSSERAND.
Chimie organique et Toxicologie.....	CLUZET.
Matière médicale et Botanique.....	HUGOUNENQ.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	MOREL.
Anatomie	BRETIN.
Histologie	GUIART.
Physiologie	LATARJET.
Pathologie Interne	POLICARD.
Pathologie et Thérapeutiques générales.....	DÉYON.
Anatomie pathologique	COLLET.
Chirurgie opératoire.....	X.
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie.....	PAVIOT.
Médecine légale	PATEL.
Hygiène	ARLOING (F.).
Thérapeutique, Hydologie et Climatologie.....	Etienne MARTIN.
Pharmacologie	COURMONT (P.).
	PIC.
	X.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	MM. VALLAS.
— — — Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— — — Chimie minérale	BARRAL.
— — — Urologie	GAYET.

CHARGES DE COURS COMPLEMENTAIRES

Orthopédie	MM. LAROYENNE.
Puériculture et hygiène de la première enfance.....	CHATIN.
Stomatologie	TELLIER.

AGREGES

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER.	COTTE.	CORDIER (V.).	MAZEL.
PHEVENOT (Léon)	DUROUX.	ROUBIER.	SANTY.
GARIN.	TRILLAT.	FAVRE.	DUNET.
SAVY.	SARVONAT.	BONNET.	CHALIER (André).
FROMENT.	FLORENCE (G.).	RHENTER.	CHALIER (Joseph).
THEVENOT (Lucien).	ROCHAIX.	LEULIER.	NOEL.
PIERY.			CORDIER (Pierre).

M. BAYLE, secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. BARRAL, président ; DEPÉRET assesseur ;
BRETIN et MOGIER, agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

AUX MIENS, A MES AMIS

A MONSIEUR LE DOYEN CH. DEPERET,
*de la Faculté des Sciences
Membre de l'Institut,
Officier de la Légion d'Honneur*

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR E. BARRAL,
*Professeur de Chimie Minérale
Chevalier de la Légion d'Honneur*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PH. BRETTIN,
Professeur de matière médicale et botanique

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ TH. NOGIER,
*Professeur de Physique
Chevalier de la Légion d'Honneur*

AVANT - PROPOS

C'est pour nous un agréable devoir de remercier ici tous ceux qui ont bien voulu nous aider de leurs conseils et de leurs travaux :

M. le Doyen Dépéret, qui a accepté de faire partie du jury, pour notre soutenance de thèse.

M. le Professeur Barral, qui nous a indiqué notre sujet d'étude et nous a guidé dans nos recherches.

M. le Professeur Cluzet, qui nous a permis d'effectuer dans son laboratoire nos déterminations physiques, ainsi que M. le Docteur Chevallier, qui nous a apporté son expérience.

M. Combaz, licencié ès-sciences, qui nous a fourni de précieux renseignements sur la géologie de la Savoie.

M. Hervé, chimiste du laboratoire départemental de la Savoie, près de qui nous avons toujours eu le meilleur accueil.

GÉOLOGIE ET SOURCES MINÉRALES ET THERMALES DE LA SAVOIE - SOURCES DE L'ECHAILLON EN MAURIENNE EXAMEN DES EAUX ET DES SEDIMENTS

INTRODUCTION

Le département de la Savoie est un des plus riches de la France en eaux minérales. Toutes les catégories sont représentées : eaux acidulées, alcalines, ferrugineuses, iodurées, salines, sulfureuses froides et chaudes. Certaines sont connues de la plus haute antiquité et sont restées célèbres (Aix, Brides). D'autres, après avoir eu une vogue extraordinaire, ont été peu à peu délaissées (La Bauche, La Boisse), ou sont revenues à une place méritée (l'Echaillon). D'autres enfin, inconnues naguère, prennent actuellement une grande importance (La Léchère).

On a écrit beaucoup sur Aix, Brides, Salins, Challes, stations universellement réputées. Quelques recherches ont été faites sur les sources de moindre valeur, dont la plupart n'ont été que signalées. Un aperçu sur l'ensemble est donné par Calloud, dans son rapport sur la *Collection des eaux minérales de la Savoie*, publié en 1855, et, plus tard, en 1878, de pré-

cieux renseignements sur les eaux exploitées ou repérées sont fournis par Barbier dans *La Savoie thermique et minérale*.

En ce qui nous concerne, nous nous proposons de déterminer, sur la plupart des sources du département, certaines propriétés physiques et chimiques, mais nos premières recherches en Maurienne révélèrent un changement important dans la composition des eaux de l'Echaillon, et nous nous arrêta mes à leur analyse, ainsi qu'à celle de leurs sédiments.

Ces eaux et ces sédiments sont d'ailleurs intéressants par leur radioactivité, émanations du radium et du thorium, sur lesquelles des essais remarquables ont été faits, en 1904, par M. G.-A. Blanc, professeur à l'Université de Rome, et, en 1923, par M. le Docteur Chevallier, moniteur de physique biologique à la Faculté de Médecine de Lyon.

Généralités sur les Eaux Minérales.

On a désigné souvent comme eau minérale « celle dont la saveur fait une impression assez sensible sur l'organe du goût pour indiquer la présence de quelques corps minéraux ». Beaucoup d'autres définitions ont été données. Aujourd'hui, on admet que l'eau minérale est « une eau de source naturelle, dont l'usage provoque sur l'organisme humain des modifications pouvant être utilisées favorablement ».

La ligne de démarcation entre les eaux potables et les eaux minérales est difficile à établir. Les premières peuvent quelquefois être de véritables eaux « médicales », tandis que des eaux chargées en sels ne sont pas reconnues comme minérales. Le terme « médical », dont s'est servi Chevreul, semble évidemment mieux convenir que celui de « minéral » et mieux s'adapter au sens de la définition admise.

Les eaux minérales sont, les unes *d'origine superficielle*, dites d'infiltration, vadeuses ou neptuniennes, et les autres *d'origine profonde*, ignée, dénommées vierges, primitives, hypogènes ou plutoniennes.

Les eaux d'infiltration ou neptuniennes proviennent des eaux de pluie, de neige, de cours d'eau, pénétrant

dans le sol soit par des formations graveleuses ou détritiques à éléments meubles (perméabilité directe), soit par des roches fissurées (perméabilité indirecte). Elles traversent des terrains variés, se chargent en sels, gaz, et remontent à la surface en un point où la perméabilité des couches n'offre rien de particulier, mais où l'observation géologique montre une fracture verticale du sol : faille, filon, pli très accentué. La température en dépasse rarement 25° à 30°. La minéralisation est surtout faite de carbonates et sulfates terreux.

Les eaux vierges ou plutoniennes sont formées dans les régions ignées du centre de la terre par la distillation pyrogénée des roches primitives. Leur débit rythmé est constant, indépendant des saisons, des phénomènes météorologiques. Leur température est, le plus souvent, chaude. Elles sont caractérisées par des éléments chimiques des profondeurs : arsenic, bore, brome, chlore, cuivre, fer, fluor, iode, silicium, sulfures, azote argon hélium néon etc...

En ce qui concerne spécialement les eaux *thermo-minérales*, diverses théories ont été émises. La plus ancienne admet que les eaux superficielles prennent leur minéralisation aux dépens des matériaux du sol, et leur température au contact des couches internes dans leur pénétration en profondeur.

Pour Elie de Beaumont, Suess, A. Gauthier, les eaux thermo-minérales ne sont que le produit des émanations gazeuses se dégageant des roches internes, se liquéfiant au contact de l'oxygène de l'air dans les couches supérieures et se minéralisant dans le parcours.

Les deux hypothèses sont justifiables et l'on conçoit très bien aujourd'hui les deux origines, artésienne et volcanique.

En vue de l'exploitation, les eaux minérales sont soumises à un captage, qui empêche leur déperdition, ainsi que celle des gaz. Il évite la contamination, et augmente parfois considérablement le débit. Le captage consiste à prendre les eaux à leur point d'émergence naturel, à les amener isolées à la surface et, suivant la distance au niveau du sol, on a recours aux forages ou aux galeries de mines.

L'embouteillage nécessite des soins tout particuliers. Il doit se faire dans un local fermé, à l'abri de la poussière. Les bouteilles sont lavées avec de l'acide sulfurique au 1/10, rincées avec de l'eau pure stérile et avec de l'eau minérale même. L'embouteillage et le bouchage suivent immédiatement cette opération. Les bouchons auront été mis au préalable en bains alcalins, rincés à l'eau pure stérile et à l'eau minérale. On peut les désodoriser, les désinfecter avec la solution de formol à 10 gr. par litre. Le bouchage est souvent fait aujourd'hui au moyen de capsules métalliques fixées sur le col de la bouteille par des appareils compresseurs spéciaux.

CHAPITRE PREMIER

Géologie et Sources minérales, thermo-minérales de la Savoie.

Un bref aperçu de la géologie de la Savoie est indispensable pour comprendre le mode d'affleurement et la nature de la minéralisation des sources minérales, thermo-minérales, de cette région presque entièrement montagneuse. Les parties basses, de faible étendue, se réduisent en effet à des vallées profondes et encaissées, creusées tantôt parallèlement, tantôt normalement aux plis par l'érosion fluviale et glaciaire. Quant aux montagnes, elles épousent la direction de l'Arc occidental alpin, dont elles sont parties intégrantes, sauf toutefois celles de la première zone, qui se rattachent au Jura.

Au double point de vue des terrains et des plissements, elles se distribuent, en effet, en plusieurs zones, qui sont, de l'Ouest à l'Est, par ordre de complexité et d'ancienneté croissantes, les chaînes jurassiennes, les massifs subalpins et les chaînes alpines proprement dites.

RÉGION JURASSIENNE. — Trois chaînes accidentent cette région, où elles représentent le dernier soubresaut et comme l'effort terminal de la poussée horizontale venue de l'Est, qui a produit la surrection des Alpes au tertiaire : la chaîne du Mont-Tournier de la cluse de Pierre-Châtel aux gorges de Chailles ; la chaîne de Lépine-Mont-du-Chat de Culoz aux Echelles ; enfin, la chaîne du Gros-Foug-La Chambotte, du Val du Fiers à Aix-les-Bains. Elles sont dirigées du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est, sur le prolongement du Jura méridional, et s'infléchissent légèrement à l'Ouest, avant de venir s'accoler aux massifs subalpins ou plonger sous des alluvions récentes. Ce sont des voûtes anticlinales simples, déversées à l'Ouest, où elles dressent leur falaises abruptes produites par l'érosion ou l'écroulement des charnières, tandis que l'autre flanc des plis descend vers la vallée en pente douce. Les roches qui les constituent sont des calcaires, des marno-calcaires, des marnes ferrugineuses (source ferrugineuse de la Bauche), d'âge jurassique et crétacé (du Bajocien à l'Albien).

La zone jurassienne est limitée à l'Ouest par le Rhône et le Guiers, qui, avant de se réunir près de Saint-Genix-d'Aoste, franchissent le Mont-Tournier par des cluses, l'un à Pierre-Châtel, l'autre à Chailles, isolant ainsi à l'ouest de cette chaîne une petite partie de la plaine dauphinoise et lyonnaise, à fond molassique recouvert d'alluvions glaciaires (cantons de Pont-de-Beauvoisin et de Saint-Genix-d'Aoste). Ces mêmes dépôts de la molasse, grès, poudingues, sables et argiles miocènes (de l'Aquitaniien au Pontien), ainsi

que les boues et cailloutis glaciaires forment également le remplissage de la vallée synclinale qui sépare le Mont-Tournier de la chaîne de Lépine, des Echelles à Yenne, par le lac d'Aiguebelette et Novalaise, et de la vallée du Bourget, qui s'étend à la limite orientale de la zone, entre les massifs subalpins (Nivolet, Revard), et la chaîne de Lépine. Au sud de Chambéry, cette dernière se prolonge par le vallon de Couz, tandis qu'au nord d'Aix-les-Bains, elle se bifurque, débouche à l'ouest de la Chambotte, par la cuvette du lac, dans la vallée du Rhône, et, à l'est de la même chaîne, se continue par la vallée de l'Albanais jusqu'en Haute-Savoie.

RÉGION SUBALPINE. — Cette région est limitée à l'ouest par le val de Couz, les vallées du Bourget et de l'Albanais, et à l'est par la combe de Savoie (vallée de l'Isère, de Montmélian à Albertville), et la vallée d'Ugine. Elle comprend la presque totalité du massif des Bauges et la partie septentrionale du massif de la Chartreuse (bassin d'Entremont ou du Guiers-Vif). Ces deux massifs sont séparés par la cluse de Chambéry-Montmélian, oblique par rapport à la direction des plis, qui fait communiquer la vallée du Bourget avec celle de l'Isère.

Dans cette région, la structure des montagnes change de style. Les plis se couchent à l'ouest, parfois s'empilent (Nivolet), les plis profonds ne concordant pas avec les plis superficiels (massif de Curienne, plateau de Jarsy). De plus, les vallées sont souvent logées dans les anticlinaux (Entremont, Sainte-Reine),

tandis que les synclinaux sont perchés au sommet des montagnes (Granier, Galoppaz, Colombier, Trelod, Arcalod, Arclusaz). Outre cette curieuse « inversion du relief », ce qui caractérise ces massifs, c'est le grand développement des formations secondaires, marneuses ou calcaires, auxquelles se superpose, dans les synclinaux, une série éogène plus ancienne que la molasse.

Les premières débutent au lias, pour se terminer à la craie. Dans le lias schisteux et tendre s'est ouvert le sillon subalpin, emprunté par l'Arly et par l'Isère, d'Albertville à Grenoble. Il est surtout développé sur la rive gauche, où il sert d'enrobage aux massifs cristallins de la région alpine. Viennent ensuite les marnes du Dôgger et du Malm inférieur (Bajocien, Bathonien, Callovien, Oxfordien). Elles forment une ligne d'émergence de sources aux pieds des bancs calcaires du Malm supérieur (Séquanien, Kimméridgien, Tithonique) que l'érosion fait saillir en corniche (roches de Montmélian, Château de Miolans). De même, à l'infracrétacé, avec les marnes du Valanginien et de l'Hauterivien, surmontées par les formidables escarpements de l'Urgonien (Barrémien, Aptien), calcaires zoogènes, dont les gros bancs forment le couronnement de tous ces belvédères subalpins (Granier, Nivolet, Arclusaz, etc...). Enfin, les couches phosphatées de l'Albien ou Gault (Entremont-le-Vieux, Bellecombe-en-Bauges), et la craie siliceuse en dalles (Sénonien) terminent la série. Après une lacune et un épisode continental marqué par la présence de dépôts sidérolithiques (Eocène) dans les poches des calcaires, on a

la série des grès du flysch et des calcaires nummulitiques (Auversien, Priabonien, Tongrien), au-dessus desquels il ne reste plus à signaler que des alluvions glaciaires.

RÉGION ALPINE. — A cette région appartiennent les hautes montagnes comprises entre le sillon subalpin et la frontière italienne, c'est-à-dire les Alpes de Tarentaise et de Maurienne. Elles contrastent avec les précédentes, non seulement par leurs altitudes, leur forme déchiquetée, leurs neiges persistantes et les glaciers qui étincèlent sur leurs sommets, mais encore par la variété, l'ancienneté, le caractère métamorphique des roches qui les composent et surtout par l'extrême complexité de leur structure.

Les plis, en effet, présentent toutes les allures possibles : plis droits, déversés, couchés le plus souvent à l'ouest, parfois à l'est, et groupés en éventail, ou réduits par étirements à de simples écailles, qui chevauchent les unes sur les autres (structure isoclinale) ou qui, détachés de leurs racines, flottent sur des formations en place, comme des nappes ou des lambeaux de nappes (sommet du Mont Jovet). En certains points (nord du massif des Grandes-Rousses), on a reconnu, d'après les discordances, deux systèmes de plissements, dont l'un, d'âge Hercynien, intéresse les terrains anté-houillers qui furent ensuite repris et replissés au tertiaire avec tout l'ensemble de la chaîne. Très fréquentes dans les Alpes, où elles sont souvent accompagnées de brèches, ces discordances attestent en outre divers mouvements du sol qui, du Houiller au

Miocène, ont préludé en quelque sorte aux grands plissements tertiaires.

On distingue, dans les régions alpines, trois zones principales, elles-mêmes accompagnées de sous-zones.

a) *Zone des massifs centraux.* — On désigne ainsi les noyaux granitiques (amygdaloïdes cristallins), mis à nu par l'érosion et qui émergent du faisceau alpin sur la bordure externe où ils forment d'ailleurs les sommets culminants de la chaîne (Pelvoux, Mont-Blanc). Ils affleurent le long de deux axes anticlinaux, séparés par une bande synclinale, qui constituent autant de sous-zones : à l'ouest, la sous-zone de Belledonne — les Aiguilles Rouges; à l'est celle des Grandes Rousses — Mont Blanc, à laquelle se rattache le dôme granitique du Rocheray, près de Saint-Jean-de-Maurienne. Entre les deux, et marquée par une bande de dépôts vaseux, jurassiques (Jura moyen et liasique), la sous-zone synclinale, qui va du Col du Glandon à la vallée de Chamonix en Haute-Savoie.

Sauf l'extrémité nord de Belledonne, en partie granitique (granite d'Épierre), les autres massifs qui appartiennent, en Savoie, à cette zone, le Grand-Arc, Bellachat, le Mirantin sont constitués par des schistes cristallins, schistes amphiboliques ou sériciteux, micaschistes, souvent traversés par des filons métallifères, comme le granite lui-même, auquel s'associent localement de la granulite (Sept-Laux) et des euphotides (Lac Robert).

b) *Zone intra-alpine.* — Ce sont les grès houillers anthracifères, qui représentent ici le plus ancien terme de la série. Le Trias y est très développé, avec un

facies spécial : à la base, des quartzites ; au-dessus, des gypses, des cargneules et des calcaires dolomitiques, dont l'aspect ruiniforme rappelle les « dolomites » du Tyrol. Le Lias qui le surmonte est souvent grossier et bréchoïde (Brèche du Télégraphe, Brèche de Villette). Cette zone comprend trois sous-zones, dont la plus occidentale, celle des Aiguilles d'Arvès, est caractérisée par la présence de formations éogènes : brèches et calcaires nummulitiques (les Arves, Villarlément, les Chapieux) ; grès du Flysch, exploités comme ardoises à Saint-Julien, Montricher, Fontcouverte, les Avanchers, Arèches. Quant aux deux autres, dites sous-zone axiale et sous-zone de la Vanoise, elles sont surtout constituées par du Permo-houiller, dont les affleurements prolongent au nord l'éventail briançonnais. A cet ensemble, se rattachent le Mont Thabor, l'Aiguille du Péclelet, le massif de la Vanoise, le Mont Pourri, le Petit Saint-Bernard et le Ruitor. A mesure qu'on s'avance vers l'est, on voit s'amorcer, puis s'accuser le métamorphisme des roches. Ainsi, le Permien, qui est à Valloire à l'état de grès kaolino-argileux à teintes vives, et à Modane à l'état de schistes verts à noyaux feldspathiques, est nettement métamorphique. Quant aux autres terrains, ils ne le deviennent que plus à l'est, dans la zone dite des « schistes lustrés ».

c) *Zone des schistes lustrés*. — Elle s'étend surtout au delà de la frontière italienne. Le pic d'Ambin cependant, et le Mont-Genis lui appartiennent déjà. Elle est représentée par une série compréhensive, allant du Lias à l'Eogène, de schistes ou calcschistes satinés,

avec intrusions éruptives de roches vertes (Mont Viso, Grand-Paradis, Mont Rose).

ALLUVIONS QUATERNAIRES (glaciaires et fluvio-glaciaires). — Nous avons déjà signalé l'existence d'alluvions glaciaires dans la zone jurassienne, en bordure des Alpes. On sait, en effet, que celles-ci furent le théâtre de plusieurs invasions glaciaires, dont les dernières seules, parmi celles qui se sont avancées jusqu'à Lyon ou aux environs de Lyon, ont laissé en Savoie des traces nettes. Ce sont les glaciations rissiennes et wurmiennes. Si l'on y ajoute la petite récurrence néo-würmienne, qui n'a pas débouché, elle, dans l'avant-pays, mais est restée confinée dans nos vallées, il s'ensuit que les dépôts morainiques et les terrasses qui en dépendent se rapportent à trois épisodes glaciaires : Riss, Würm, Néowürm.

A chaque époque interglaciaire, l'érosion torrentielle a laissé des dépôts, terrasses de cailloutis ou de sables, dans lesquels sont venus s'emboîter ou que sont venus recouvrir les matériaux morainiques des glaciations ultérieures, et l'on est ainsi conduit à distribuer les alluvions quaternaires de la manière suivante :

a) *Alluvions rissiennes*. — A cette glaciation, on rapporte les cailloux et débris alpins, que l'on rencontre au-dessus de l'altitude de 1.200 mètres, dans les massifs subalpins, et au-dessus de l'altitude de 1.100 mètres dans les chaînes jurassiennes.

b) *Alluvions interglaciaires, Riss-Würm*. — Ce sont des terrasses de cailloutis quelquefois cimentés en

poudingues, que l'on observe à Saint-Jean-d'Arvey et à Chaloup, par exemple, où elles sont recouvertes par des blocs ou des moraines de la glaciation suivante.

c) *Alluvions würmiennes*. — Ce sont des blocs erratiques associés à des boues morainiques, sur les hauts plateaux (La Thuile, Les Déserts) ; dans les hautes vallées (Les Entremonts; vallée du Chéran et vallée de Tamié, dans les Bauges) ; en contre-bas des cols (Vimines, Saint-Sulpice, Saint-Thibaud-de-Couz) ; sur le versant des vallées (Pugny, Le Montcel, Grésy-sur-Aix, etc.). Ce sont de beaucoup les plus importantes.

d) *Alluvions interstadiques Würm-Néowurm*. — Ce sont les sables, argiles à lignites et cailloutis qui forment les terrasses de La Boisse, Voglans, Saint-Innocent, Le Tremblay, en aval de Chambéry ; de Francin, de Sainte-Hélène-du-Lac, en amont, d'où elles s'étendent jusqu'à Chamousset, sur la rive gauche de l'Isère.

e) *Réurrence néowürmienne*. — On lui attribue les alluvions morainiques qui recouvrent les terrasses précédentes, ainsi qu'une série de moraines de retrait, témoin des derniers stationnements des glaciers dans nos vallées. Citons les moraines du stade de Chignin, entre La Ravoire, Saint-Baldoph et Challes; celles de Chamousset, au débouché de la vallée de l'Arc, et des environs d'Albertville, au débouché de la haute Isère.

Quant aux stades postérieurs qui, dans les vallées intra-alpines, marquent les étapes du recul définitif des glaciers sur les sommets où ils sont confinés à

ANALYSE par MM. D'ARSONVAL, BORDAS et TOUPLAIN en 1921

SOURCE DITE " D'ALUN " — Groupe d'Aix-les-Bains (Savoie)

Caractères physiques :		PERMANENTS		IONS		PAR LITRE
DIRECTS						
Résistivité électrique à 18°.....	1433 ohms 6	2349 ohms 4	Fe.....	traces		
Conductivité à 18°.....	6,8 X 10 ⁻⁴	4,25 X 10 ⁻⁴	Aluminium..... (en gr.)	0,0014		
Degré cryoscopique.....	— 0,045	— 0,001	Manganèse.....	traces		
<i>Caractères chimiques (rapportés au litre) :</i>						
Degrés hydrotimétriques.....	26	16	Calcium.....	0,0924		
Alcalinité (en cm ³ $\frac{N}{10}$).....	40	3	Magnésium.....	0,030		
Extrait sec } à 180° (en gr.).....	0 gr. 512	0,343	Potassium.....	0,0028		
Acide carbonique total (CO ₂).....	0 562	0,319	Sodium.....	0,025		
Degrés sulfhydrométriques (Do).....	0 195		<i>Éléments électro-négatifs :</i>			
1° Correspondant au (Do).....	3,081		Chlore..... (en gr.)	0,0199		
2° Des hyposulfites.....	0,0048		Brome.....	Néant		
3° De l'acide sulhydrique libre.....	Néant		Iode.....	do		
4° — — combiné.....	Néant		Acide silicique.....	0,0249		
(à l'état de sulphydrates)			— sulfurique.....	0,130		
5° Des monosulfures.....	do		Soufre libre et des monosulfures.....	Néant		
6° Libre (ou à l'état de polysulfures).....	do		Soufre (des hyposulfites).....	do		
7° Somme des (20, 30, 40, 50, 60).....	0,0048		Acide phosphorique.....	S ² O ³		
8° Des sulfates.....	0,043		— carbonique fixe.....	PO ⁴ H		
9° Total (70 et 80).....	0,0478		— arsénique.....	CO ³		
			Azote nitrique.....	As O ⁴ H		
			— nitreux.....	NO ³		
				NO ²		

SOURCE DITE DE " SOUFRE " — Groupe d'Aix-les-Bains (Savoie)

DIRECTS	PERMANENTS
1. 424 ohms 4 7,02 X 10-4 — 0,015	1924 ohms 2 5,49 X 10-4 — 0,01
Caractères physiques :	
Résistivité électrique à 18°	
Conductivité à 18°	
Degré cryoscopique	
Caractères chimiques (rapportés au litre) :	
Degrés hydrotimétriques.....	16°
Alcalinité (en cm ³ N / 10).....	5
Extrait sec { à 180°..... (en gr.) converti en sulfates.....	0,373 0,383
Acide carbonique total (CO ₂).....	0,237
Degrés sulhydrométriques (Do).....	2054
(10 Correspondant au (Do)..... (en gr.)..	0,0032
2° Des hyposulfites	Néant
3° De l'acide sulhydrique libre.....	0,0032
4° ——— combiné.....	Néant
(à l'état de sulphydrates)	
5° Des monosulfures	do
6° Libre (ou à l'état de polysulfures)....	do
7° Somme des (2°, 3°, 4°, 5°, 6°)	0,0032
8° Des sulfates	0,056
9° Total (7° et 8°).....	0,0592

ANALYSE par MM. D'ARSONVAL, BORDAS et TOUPLAIN en 1921

SOURCE DITE « D'ALUN » — Groupe d'Aix-les-Bains (Savoie)

Caractères physiques :	DIRECTS	PERMANENTS	IONS	PAR LITRE
Résistivité électrique à 18°.....	1453 ohms 6	2349 ohms 1	Fe	traces
Conductivité à 18°.....	6,8 X 10 ⁻⁴	4,25 X 10 ⁻⁴	Al	0,0014
Degré cryoscopique.....	— 0°,015	— 0°01	Mn	traces
<i>Caractères chimiques (rapportés au litre) :</i>				
Degrés hydrotimétriques.....	26	46	Ca	0,0924
Alcalinité (en cm ³ $\frac{N}{10}$).....	40	3	Mg	0,020
Extrait sec } à 180° (en gr.).....	0 gr. 512	0,313	K	0,0028
Acide carbonique total (CO ₂).....	0 562	0,319	Na	0,025
Degrés sulhydrométriques (Do).....	0 495			
1° Correspondant au (Do).....	3681			
2° Des hyposulfites.....	0,0048			
3° De l'acide sulhydrique libre.....	Néant		Cl	0,0199
4° — — combiné.....	0,0048		Br	Néant
(à l'état de <i>sulphhydrates</i>)			I	do
5° Des monosulfures.....	Néant		Si O ₃	0,0249
6° Libre (ou à l'état de polysulfures).....	0,0048		SO ₃	0,130
7° <i>Somme des</i> (2°, 3°, 4°, 5°, 6°).....	Néant		S	Néant
8° Des sulfates.....	do		S ² O ₃	do
9° Total (7° et 8°).....	do		PO ⁴ H	traces
	0,0048		CO ₃	0,1901
	0,043		As O ⁴ H	Néant
	0,0476		NO ₃	do
			NO ₂	do

Eléments électro-positifs :

Fer..... (en gr.)
 Aluminium.....
 Manganèse.....
 Calcium.....
 Magnésium.....
 Potassium.....
 Sodium.....

Eléments électro-négatifs :

Chlore..... (en gr.)
 Brome.....
 Iode.....
 Acide silicique.....
 — sulfurique.....
 Soufre libre et des monosulfures.....
 Soufre (des hyposulfites).....
 Acide phosphorique.....
 — carbonique fixe.....
 — arsénique.....
 Azote nitrique.....
 — nitreux.....

Soufre

SOURCE DITE DE « SOUFRE » — Groupe d'Aix-les-Bains (Savoie)

DIRECTS		PERMANENTS	IONS	PAR LITRE
<i>Caractères physiques :</i>				
Résistivité électrique à 18°		1424 ohms 2	Fe	traces
Conductivité à 18°		7,02 X 10 ⁻⁴	Al	0,0018
Degré cryoscopique		— 0°, 015	Mn	traces
<i>Caractères chimiques (rapportés au litre) :</i>				
Degrés hydrotimétriques		16°	Ca	0,1412
Alcalinité (en cm ³ $\frac{N}{10}$)		5	Mg	0,0222
Extrait sec { à 180°		0,556	K	0,0020
Acide carbonique total (CO ²)		0,604	Na	0,0282
Degrés sulfhydrométriques (Do)		0,237		
1° Correspondant au (Do)		2° 54		
2° Des hyposulfites		0,0032	Cl	0,0248
3° De l'acide sulfhydrique libre		Néant	Br	Néant
4° — — combiné		0,0032	I	do
(à l'état de <i>sulphhydrates</i>)		Néant	Si O ³	0,0333
5° Des monosulfures		do	SO ⁴	0 1677
6° Libre (ou à l'état de polysulfures) ...		do	S	Néant
7° <i>Somme des</i> (2°, 3°, 4°, 5°, 6°)		0,0032	S ² O ³	do
8° Des sulfates		0,056	PO ⁴ H	traces
9° Total (7° et 8°)		0,0592	CO ³	0,463
			As O ⁴ H	Néant
			NO ³	do
			NO ²	do
<i>Eléments électro-positifs :</i>				
Fer		(en gr.)		
Aluminium				
Manganèse				
Calcium				
Magnésium				
Potassium				
Sodium				
<i>Eléments électro-négatifs :</i>				
Chlore		(en gr.)		
Brome				
Iode				
Acide silicique				
— sulfurique				
Soufre libre et des monosulfures ..				
— (des hyposulfites)				
Acide phosphorique				
— carbonique fixe				
— arsénique				
Azote nitrique				
— nitreux				

voisinage immédiat, du granite, des schistes cristallins, des calcaires liasiques, ou débris divers de ces roches, avec lesquelles le Trias est en contact. Telles sont les sources de l'*Echaillon* et de *Pontamafrey* en Maurienne, de *Brides-les-Bains*, de *Moutiers-Salins* et de *La Léchère*, en Tarentaise.

a) SOURCES ALCALINES. — Les seules exploitées en Savoie sont celles de *Saint-Simon* et des *Deux-Reines*, près d'Aix-les-Bains. Les eaux de Saint-Simon sourdent au nord-est de la ville (Champ des Fontaines), en contre-bas d'une puissante accumulation d'alluvions glaciaires, situées à la limite des communes d'Aix et de Grésy-sur-Aix. Par leur régime et leurs propriétés, elles rappellent celles d'Evian, en Haute-Savoie. Elles se minéralisent en circulant dans les alluvions précitées, riches en matériaux alpins, gneiss, granite, micaschiste, serpentines, euphotides, calcaires magnésiens triasiques, etc..., à minéraux alcalins solubles. Ces roches en voie de désagrégation forment un sable ou gravier perméable, qui constitue pour ces eaux un excellent filtre. Aussi, sont-elles remarquablement pures. Elles sont raménées à la surface au point d'affleurement d'une argile morainique à cailloux striés sous-jacents aux alluvions, où elles se minéralisent.

Les eaux des Deux-Reines sont captées dans les alluvions glaciaires du plateau de Mouxy. Comme les précédentes, elles sont d'une grande pureté et appartiennent à la catégorie des eaux hypominérales ou oligominérales.

b) SOURCES SULFUREUSES. — A ce groupe se rattachent les sources thermales d'*Aix-les-Bains* (1), les sources froides de *Marlioz* et de *Challes*. Cette dernière exceptée, elles jaillissent des fissures du calcaire urgonien de la « Roche du Roi ». Dans un article remarquable, où il précise leurs conditions d'émergence et leur régime, M. Révil attribue leur sulfuration aux marnes hauteriviennes pyriteuses, qui passent au-dessous des calcaires urgoniens et des dépôts tertiaires du synclinal de Mouxy (2). Au pied du Revard, en effet, ces bancs calcaires se relèvent presque jusqu'à la verticale contre la charnière jurassique de la montagne, où ils s'interrompent, pour ne reparaitre que sur le versant oriental, en contre-bas de la crête. C'est par la tranche des bancs de cette retombée urgonienne que les eaux météoriques s'infiltreraient, pour suivre en profondeur les marnes hauteriviennes, où elles se minéraliseraient et s'échaufferaient, pour venir sourdre sur l'autre bord du synclinal, chaudes (Aix), ou refroidies (Marlioz), suivant les conditions de la remontée à travers les diaclases ou fissures du calcaire.

Les eaux de Challes auraient un régime analogue, mais dans les terrains jurassiques. La roche minéralisatrice serait le Séquanien, d'où elles sortent au pied du Mont Saint-Michel. Il est formé d'une alternance de schistes et de calcaires foncés, veinés de calcite, légèrement pyriteux ou bitumineux, affleurant sous

(1) Deux sources : l'une dite « source du soufre », jaillit sous l'établissement thermal; l'autre, dite « source d'alun », dans une grotte, à 80 mètres de là.

(2) J. Révil. Les sources thermominérales de la Savoie. *Rev. gén. des Sc.*, 30 octobre 1908.

ANALYSE par MM. D'ARSONVAL, BORDAS et TOUPLAIN en 1921

SOURCE " ESCULAPE " — Groupe Marlioz (Savoie)

Caractères physiques :		DIRECIS	PERMANENTS	Eléments électro positifs :		IONS	PAR LITRE
Résistivité électrique à 18°.....		1199 ohms	1757 ohms	Fe.....	(en gr.)	Fe	traces
Conductivité à 18°.....		8,33 × 10 ⁻⁴	5,68 × 10 ⁻⁴	Aluminium.....		Al	0,00402
Degré cryoscopique.....		— 0,003	— 0,002	Manganèse.....		Mn	Néant
Caractères chimiques (rapportés au litre) :				Calcium.....		Ca	0,11696
Degrés hydrotimétriques.....		21°	10°	Magnésium.....		Mg	0,014
Alcalinité (en cm ³ $\frac{N}{10}$).....		52,5	0	Potassium.....		K	0,00335
Extrait sec { à 180°.....(en gr.)		0 gr. 596	0,390	Sodium.....		Na	0,0624
Acide carbonique total (CO ₂).....		0,696	0,439	<i>Eléments électro-négatifs :</i>			
Degrés sulhydrométriques (Do).....		7011		Chlore.....	(en gr.)	Cl	0,041
1° Correspondant au (Do).....(en gr.)		0,00495		Brome.....		Br	0,00001
2° Des hyposulfites.....		Néant		Iode.....		I	Néant
3° De l'acide sulhydrique libre.....		0,00895		Acide silicique.....		Si O ₃	0,0367
4° — — combine.....		Néant		— sulfurique.....		SO ₄	0,1836
5° — — (à l'état de sulphydrates)				Soufre libre et des monosulfures.....		S	Néant
6° Des monosulfures.....		do		— (des hyposulfites).....		S ² O ₃	do
7° Libre (ou à l'état de polysulfures)...		do		Acide phosphorique.....		PO ⁴ H	traces
8° Sommes des (20, 30, 40, 50, 60).....		0,00895		— carbonique fixe.....		CO ₃	0,125
9° Des sulfates.....		0,612		— arsénique.....		As O ⁴ H	Néant
10° Total (70 et 80).....		0,07015		Azote nitrique.....		NO ₃	do
				— nitreux.....		NO ₂	do

Soufre

SOURCE « BONJEAN » — Groupe Marlioz (Savoie)

Caractères physiques :	DIRECTS.	PERMANENTS		IONS	PAR LITRE
Résistivité électrique à 18°.....	1404 ohms	2222 ohms 3			
Conductivité à 18°.....	$7,42 \times 10^{-4}$	$4,49 \times 10^{-4}$			
Degré cryoscopique.....	— 0,03	— 0,02			
<i>Caractères chimiques (rapportés au litre) :</i>					
Degrés hydrotimétriques.....	24°	9°			
Alcalinité (en cm ³ $\frac{N}{10}$).....	50	0			
Extrait sec } à 180°..... (en gr.).	0 gr. 552	0,349			
Acide carbonique total (CO ₂).....	0,643	0,361			
Degrés sulfhydrométriques (Do).....	0,233				
1° Correspondant au (Do)..... (en gr.).	5008				
2° Des hyposulfites.....	0,0064				
3° De l'acide sulfhydrique libre.....	Néant				
4° — — — combiné.	0,0064				
<i>(à l'état de sulphydrates)</i>					
5° Des monosulfures.....	Néant				
6° Libre (ou à l'état de polysulfures).....	do				
7° Somme d's (2°, 3°, 4°, 5°, 6°).....	do				
8° Des sulfates.....	0,0034				
9° Total (7° et 8°).....	0,0592				
<i>Eléments électro-positifs :</i>					
Fer..... (en gr.).				Fe	traces
Aluminium.....				Al	0,00461
Manganèse.....				Mn	Néant
Calcium.....				Ca	0,09411
Magnésium.....				Mg	0,01370
Potassium.....				K	0,00804
Sodium.....				Na	0,05. 2
<i>Eléments électro-négatifs :</i>					
Chlore..... (en gr.).				Cl	0,010
Brome.....				Br	0,00002
Iode.....				I	Néant
Acide silicique.....				Si O ₃	0,04048
— sulfurique.....				SO ₄	0,17751
Soufre libre et des monosulfures.....				S	Néant
— (des hyposulfites).....				S ₂ O ₃	do
Acide phosphorique.....				PO ₄ H	traces
— carbonique fixe.....				CO ₃	0,415
— arsenique.....				As O ₄ H	Néant
Azote nitrique.....				NO ₃	do
— nitreux.....				NO ₂	do

les calcaires tithoniques, eux-mêmes surmontés des marnes berriasiennes du synclinal de Bellegarde.

Ces vues plutôt théoriques (1), bien que fondées sur des données géologiques très exactes, se heurtent à quelques difficultés, entre autres, au débit énorme et à la thermalité élevée des eaux d'Aix. Aussi, les géologues envisagent-ils l'hypothèse d'une origine plus profonde et plus lointaine. Il se pourrait qu'elles se minéralisent, comme les sources intra-alpines, au contact des couches salifères et gypsifères du trias, situé en profondeur, sous les massifs subalpins. Plutôt salines au départ, elles deviendraient sulfureuses par réduction des sulfates au contact des dépôts liasiques et jurassiques qu'elles traversent ensuite. À l'appui de cette hypothèse, on peut invoquer la présence dans ces eaux, en plus de l'hydrogène sulfuré, des sulphydrates et des sulfures, de sels, de sulfates et de traces de brome et d'iode, attestant leur circulation dans des sédiments de faciès analogue à celui du Trias dans toute cette partie des Alpes ; en outre, l'existence, le long du bord alpin, d'un plan de charriage coïncidant probablement, d'après M. Kilian (1), avec le niveau des couches triasiques ; enfin le régime des eaux de Saint-Gervais (Haute-Savoie) et d'Uriage (Isère), issues du Trias, au pied des massifs cristallins de la première zone. Elles sont salines et sulfureuses à la fois et font, avec celles d'Allevard, la transition des sources subalpines aux sources intra-alpines,

(1) Aucun essai à la fluoresceïne n'a, à notre connaissance, donné des résultats de nature à les confirmer.

(1) Procès-verbal, Soc. scientifique de l'Isère. Séance du 5 mai 1924.

SOURCE : CHALLES-LES-EAUX (Savoie)

Caractères physiques :		PERMANENTS		IONS		PAR LITRE
DIRECTS						
Résistivité électrique à 18°.....ohms....	425.6	447.20	Fe et Al	0,001		
Conductivité à 18°.....	$2,34 \times 10^{-3}$	$2,23 \times 10^{-3}$	Mn	traces		
Degré cryoscopique.....	— 0,0114	— 0,009	Ca	0,031		
Indice de réfraction à 17°5.....	1,33362	1,33354	Mg	0,043		
<i>Caractères chimiques (rapportés au litre) :</i>						
Degrés hydrotimétriques.....	16°	40°	K	traces		
Alcalinité (en $\text{cm}^3 \frac{\text{N}}{10}$).....	240	208	Na	0,623		
Extrait sec à 180°.....(en gr.)	4,636	4,580	Li	traces		
Acide carbonique total (CO_2).....	2,060	4,564	Cl	0,1773		
Degrés sulfhydrométriques (Do).....	0,668		Br	0,0018		
1° Correspondant au (Do).....(en gr.)	218,44		I	0,0092		
2° Des hyposulfites.....	0,2757		Si O ₃	0,043		
3° De l'acide sulfhydrique libre.....	0,0006		SO ₄	4,165		
4° — combiné.....	0,1008		B ⁴ O ⁷	0,004		
5° Des monosulfures.....	0,0656		S	0,109		
6° Libre (ou à l'état de polysulfures).....	0,1088		S ² O ₃	0,001		
7° Somme des (2°, 3°, 4°, 5°, 6°).....	Neant		PO ⁴ H	traces		
8° Des sulfates.....	0,2758		CO ₃	0,434		
9° Total (7° et 8°).....	0,0550		As O ⁴ H	Neant		
	0,3308		NO ₃	do		
			NO ₂	do		
<i>Matières organiques : En oxygène consommé.....</i>						
Extrait sulfaté calculé..... 1 mmg. 12						
— converti en sulfates..... 2 g. 094						
..... 2 g. 060						

Celles d'Allevard, toutefois, sont plus franchement salines.

Ainsi, le Trias, avec son faciès lagunaire si constant dans nos régions alpines serait l'étage minéralisateur commun de toutes ces sources. Leur degré de sulfuration dépendrait ensuite de l'épaisseur de dépôts secondaires traversés et des réactions secondaires subies dans leur trajet de l'étage salifère à l'émergence.

c) SOURCES SALINES. — Elles sont situées dans la région intra-alpine. Les eaux de *Brides-les-Bains* et de *Moûtiers-Salins* sont dans la sous-zone des Aiguilles d'Arves. Les premières sortent par plusieurs filets de schistes quartzeux magnésiens du Trias, rive gauche du doron de Bozel ; mais elles viendraient, d'après le Docteur Laissus, de la rive droite, où se voient des affleurements de gypse. Les secondes, dont la teneur en chlorure de sodium est beaucoup plus élevée, sourdent au pied d'un rocher calcaire du Trias moyen, à Salins. La source est double et débite, en 24 heures, plus de trois millions de litres à 35°. On sait qu'elles alimentaient autrefois les salines de Moûtiers, dont les canalisations laissent encore des traces.

Les eaux de la *Léchère* (Tarentaise) et celles de *Pontamafrey*, de l'*Echaillon* (Maurienne) appartiennent à la zone des massifs cristallins et émergent presque à sa limite orientale, les unes près de Notre-Dame-de-Briançon, les autres non loin de Saint-Jean-de-Maurienne. D'après M. Termier (1), la source ther-

(1) Rapport sur les eaux de la Léchère par M. Termier.

SOURCE HYBORD DE BRIDES-LES-BAINS

Analyse par Ed. BONJEAN en 1923
(résultats exprimés en milligr. par litre)

en Ions

Cathions.

Sodium	1.302.8
Potassium.....	35.8
Lithium.....	0.4
Calcium.....	619.7
Magnésium.....	116.2
Fer.....	2.8
Aluminium.....	traces
Manganèse.....	traces

Anions.

Carbonique CO^3	433.0
Sulfurique SO^4	2.584.8
Chlore.....	844.9
Silicique SiO^3	25.3
Arsenique ASO^4	0.1
Iode.....	traces
Brôme.....	traces
Fluor.....	traces

Détail analytique.

Résidu à 180 degrés.....	6.300.0
Résidu sulfaté.....	6.950.0
Alcalimétrie totale.....	360.0
Alcalimétrie permanente.....	120.0
Silice en SiO^2	20.0
Chaux en CaO	868.0
Magnésie en MgO	194.0
Soude en Na^2O	1.754.0
Potasse en K^2O	43.1
Lithine en Li^2O	1.9
Fer en Fe^2O^3	4.0
Chlore en Cl	1.305.0
Acide sulfurique en SO^3	2.154.0
Acide carbonique en CO^2	160.0
Arsenic en As	0.07
Manganèse.....	présence
Iode, Brôme, Fluor.....	traces

SOURCE THERMALE DE LA LÉCHÈRE

Analyse faite en octobre 1922 par l'Ingénieur des Mines M. le Docteur
JOUKOWSKY, assisté de M. CHAUTEMPS, Chimiste à Genève

Données directes de l'analyse

Poids spécifique à 15° centigrades	1.0027
Résidu sec à 180° cent., gr. par litre.....	2.9140
Anhydride silicique, gr. par litre	0.0388
Acide chlorhydrique, gr. par litre.....	0.1158
Anhydride sulfurique, gr. par litre.....	1.4412
Protoxyde de fer, gr. par litre.....	0.0020
Oxyde de calcium, gr. par litre	0.7662
Oxyde de magnésium, gr. par litre	0.0729
Oxyde de sodium, gr. par litre	0.3586
Ammoniaque, gr. par litre	0.0010
Oxyde de potassium, très faibles quantités.	
Oxyde lithium	traces
Matières organiques	traces

Composition calculée d'après ces chiffres :

Anhydride silicique, gr. par litre	0.0388
Chlorure de sodium, gr. par litre	0.1856
Sulfate de sodium, gr. par litre	0.5960
Sulfate de calcium, gr. par litre	1.6346
Sulfate de magnésium, gr. par litre.....	0.2173
Sulfate d'ammonium, gr. par litre	0.0039
Carbonate de fer, gr. par litre	0.0032
Bicarbonate de calcium, gr. par litre	0.2693
Chlorure de potassium, très faibles quantités.	
Chlorure de lithium	traces
Matières organiques	traces

male de la Léchère sort d'une bande triasique de faible épaisseur, qui passerait sous les tufs et les éboulis en contre-bas de deux petits lacs situés l'un sur la rive droite, l'autre sur la rive gauche de l'Isère. Invisible au point d'émergence, cette bande de trias apparaît au nord de l'un de ces lacs, dans un ravin de la rive gauche, entre les micaschistes et les schistes ardoisiers du Lias.

Quant à la source de Pontamafrey (1), elle sourd non loin de ce village, près d'un gros bloc de micaschiste éboulé et portant une chapelle, au milieu de la vallée de l'Arc. En ce point, la rivière coule entre des schistes granitisés, qui sont surmontés au nord de la gorge, de masses gypseuses et salifères. C'est dans ces dernières que circulent les eaux de la source, avant de pénétrer dans les fentes de la roche cristalline, d'où elles sourdent ensuite sous les alluvions de l'Arc. Leur régime est en somme analogue à celui de l'Echaillon. La seule différence est qu'elles ne descendent pas à la même profondeur. Aussi sont-elles froides.

(1) La source de Pontamafrey n'est pas exploitée, mais son voisinage de celle de l'Echaillon, dont elle rappelle la composition, lui donne quelque intérêt. Sa minéralisation en sels chlorurés, sulfatés, carbonatés, iodurés, serait de 10 grammes par litre.

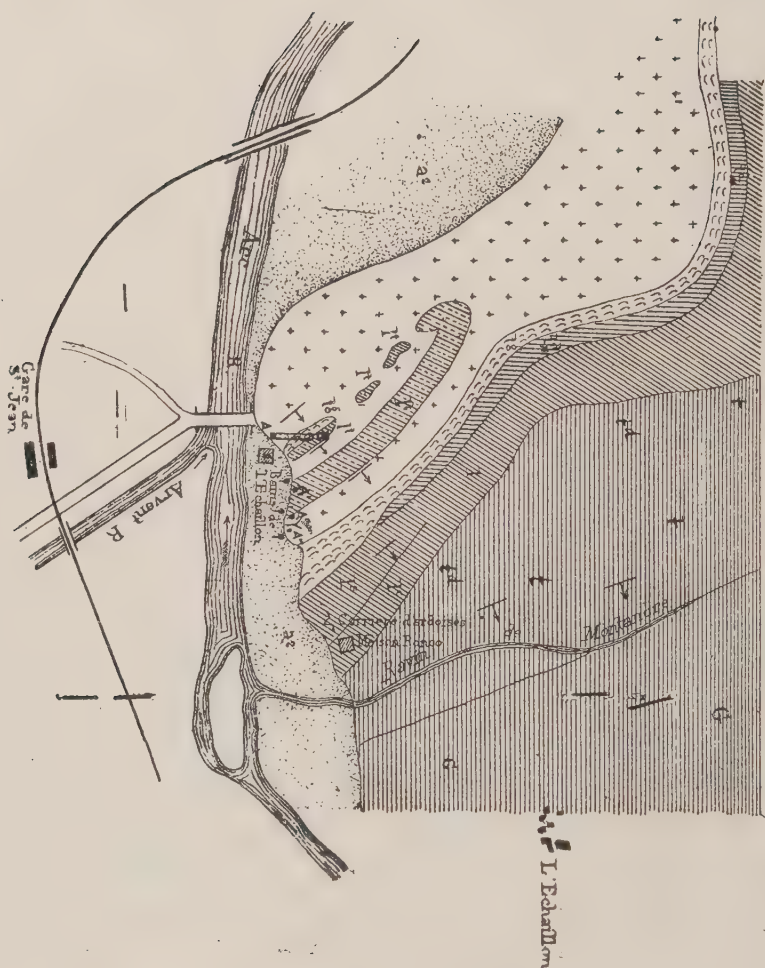
CHAPITRE II

Sources de l'Échaillon ⁽¹⁾

C'est d'une colline située entre le ravin de Montandré et la vallée de l'Arc (rive droite), à la hauteur de la gare de Saint-Jean-de-Maurienne, qui jaillissent les eaux dont nous allons spécialement nous occuper. Cette colline fait encore partie du dôme du « Rocheray », qui affleure presque entièrement sur la rive gauche et se compose de gneiss, de granite, de schistes cristallins, dans lesquels s'enfoncent des « coins » de schistes liasiques ou de calcaires triasiques, au contact desquels le granite apparaît laminé ou converti en arkose. D'après la coupe ci-jointe de MM. Kilian et Revil, on a de l'ouest à l'est la succession suivante :

1° *Gneiss amphibolique et granite*, passant insensiblement vers le haut à un grès arkosique laminé. C'est de cette roche que sortent les sources actuelles.

(1) Echaillon est un hameau, sur la commune de l'Hermillon, à proximité de St-Jean-de-Maurienne. L'escalier (scalio) qui donna le nom était une voie romaine tracée près de là, dans le roc.



Carte géologique des environs de l'Echallion
par V. Kilian et J. Révil

LEGENDE

- | | | | |
|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| a | Alluvions de l'Arc | ~ | Carrière |
| 17 | Lias - 1° Lias schisteux | ☐ | Four à chaux |
| 1' | Lias et calcaire capucin | ☐ | Sources minérales dans les alluvions |
| 1 | Schistes, Dolomies et Gypses (G) du Trias (t ^h) | ☐ | Source minérale dans le granite |
| 1' | Calcaire capucin et dolomies | | |
| t ^h et t ^h | Grès triasique et Arkose | | |
| x | Granite et Gneiss | | |

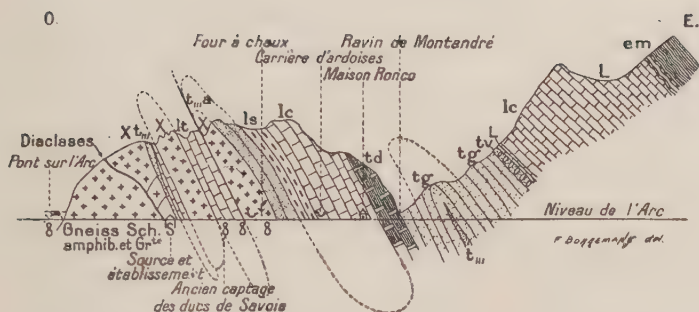
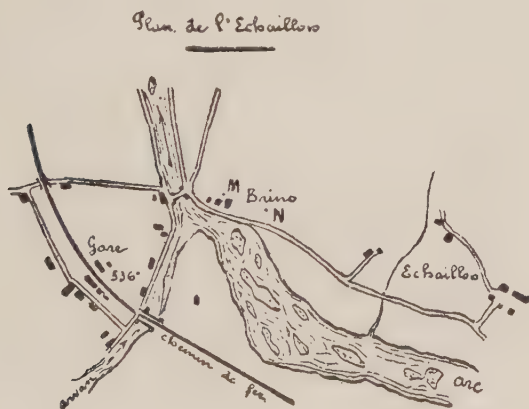


Fig. 1. — Coupe de la rive droite de l'Arc en face de Saint-Jean-de-Maurienne et près des sources de l'Echaillon. — X, Gneiss et Granite; t_{III} , Quartzites du Trias inférieur; t_{IIIa} , Arkose triasique; tg, Gypse; td, Dolomies et schistes luisants (Trias); tv, Schistes versicolores du Trias supérieur; lt, Lias et Trias étirés (en chapelet); L, Calcaires et schistes rhétiens; lc, Lias calcaire; ls, Lias schisteux; L, Lias indéterminé; em, Conglomérats, grès et schistes éogènes; 8, Emergences d'eaux thermales; U, Carrières; ψ Four à chaux. (Extrait de KILIAN et RÉVIL : *Etudes géologiques dans les Alpes occidentales*, 1 vol. in-4°. Paris, Imprimerie nationale, 1904.)



Echelle: 1:20,000

Extrait de "Echaillon voie romaine et eaux thermales"
par S TRUCHET, 1902.

2° *Mince bande d'arkose* contre laquelle s'appuie une bande de calcaires bleuâtres à patine rousse, dits calcaires « capucin », en gros bancs étirés en chapelet vers le haut de l'escarpement, où elle finit par disparaître. Elle est accompagnée d'un peu de schistes noirs liasiques.

3° *Granite gneissique*. — A ce niveau et au pied de l'escarpement, se trouve un autre point d'émergence de l'eau minérale, jadis captée par les Ducs de Savoie.

4° *Bandes de dolomies* à patine « capucin », accompagnée de calcaires et de brèches liasiques, étirée aussi en chapelet et finissant en pointe dans les schistes cristallins, au-dessus du promontoire rocheux.

5° *Gneiss granitique et micaschistes*, desquels émerge encore l'eau minérale près des fours à chaux.

6° *Schistes verdâtres*, d'aspect satiné, que MM. Kilian et Revil regardent comme du granite laminé passant ensuite à une arkose.

7° *Schistes liasiques* très foncés, pyriteux (avec lentille calcaire), exploités comme ardoises.

8° *Schistes luisants* et dolomies bréchiformes, avec injections siliceuses. Plus à l'est, il s'y associe de la dolomie ferrifère et du gypse et, vers Montandré, il s'y intercale une masse anticlinale de quartzite.

9° *Gypses de l'Echaillon*, superposés au grès quartzeux.

Les strates présentent une inclinaison moyenne de 50° vers l'est, forment trois synclinaux, correspondant aux bandes de schistes et de calcaires liasiques, et trois anticlinaux à noyaux cristallins, sauf le plus oriental, qui est à noyau de quartzites triasiques. Au

delà du ravin de Montandré, ces derniers supportent une masse assez puissante de gypses légèrement salifères, dans lesquels circulent les eaux d'infiltration, avant d'atteindre en profondeur les schistes cristallins et les gneiss granitiques de la bordure du massif de Rocheray, qui est lui-même à l'extrême limite orientale de la première zone alpine (sous-zone des Grandes-Rousses, Mont-Blanc).

Historique.

Les eaux thermominérales de l'Echaillon durent certainement être remarquées et utilisées par les Romains qui, dans la contrée, laissèrent de nombreux vestiges. La tradition, d'ailleurs, donne aux bains de l'Echaillon une origine contemporaine de la construction de la route Suse-Montmélian, par le proconsul Cnéius Aenobarbus, en l'an 628 de la fondation de Rome.

Le premier document écrit relatant leur existence est une charte de 1344, fixant l'étendue de la Chavannerie de l'Echaillon :

« *A balneis de Eschallione ad balmam de Villario Clementis* ».

A une époque restée inconnue, les bains et une partie de la voie romaine furent détruits par les eaux de la montagne ou plutôt de l'Arc. Peu de choses sub-

sistaient en 1575, au moment où Jacques Pelletier du Mans écrivait son poème sur la Savoie :

« *Encor se voit la fontaine salée*
« *En Eschalon.....*
« *Là les brebis qui la salure sentent*
« *pour la sucer bien souvent se présentent*
« *Mais l'Arc qui pend tousiours sur ce côté*
« *a le signal du sel tout presqu'oté.*

Longtemps encore, les eaux de l'Echaillon restèrent dans l'oubli.

En 1696, le médecin Favre, de Saint-Jean, fit des essais sur leurs propriétés et, d'après Giobert, « en éprouva des succès merveilleux, les mit fort en vogue bien au delà de la Maurienne et de la Savoie... Du commencement du siècle suivant, on en exportait en Piémont et autres pays éloignés... et on en éprouvait partout des effets salutaires marquans » (1).

Fantoni, médecin du roi Charles de Sardaigne et professeur à l'Université de Turin, vint visiter les sources. Il en donna « une analyse aussi bien faite, dit encore Giobert, qu'il était possible de la faire en ce temps-là », et ses travaux furent publiés à Genève en 1738 en un petit ouvrage : *De aquis Maurianensibus*.

Le Professeur Bianchi, vers 1740, procéda à un nouvel examen, à la suite duquel le roi Charles fit lui-même usage des eaux « avec tout le succès qu'on espérait ». On les employa de nouveau en bains et, pour ce, « un réservoir à différents compartiments » fut

(1) J. A. Giobert. Des eaux thermales et acidulées de l'Echaillon en Maurienne. Turin, 1822.

construit aux frais du roi. Un pont en bois facilita l'accès des thermes aux visiteurs de la rive gauche.

Ces faits sont consignés en un manuscrit de Borelli, médecin à Saint-Jean, en 1741, et laissé aux archives de la capitale de Savoie.

En 1780, l'établissement et le pont sur l'Arc n'existent plus. Un placet adressé alors au roi par le Conseil de Saint-Jean expose l'urgence de la recherche des sources, de la réparation des bassins. Le pont en bois est rétabli, mais en 1793, il disparaît à nouveau, et par le feu, cette fois, « brûlé par l'effet de la guerre ou de la malveillance ». Vers 1809, M. Bellemin, sous-préfet de Saint-Jean, entreprend des fouilles sur l'emplacement des sources recouvertes par un éboulis de terrain, mais les crédits pour la reconstruction de l'établissement n'arrivent pas.

En février 1818, à la suite d'un jugement rendu par M. Fernex, sous-intendant de Maurienne, la commune d'Hermillon cède à la ville de Saint-Jean, « le territoire et les dépendances des eaux thermales de l'Echaillon ». En juin de la même année, l'Arc, grossi par la fonte des neiges, ayant emporté le pont provisoire, on décide enfin une construction plus solide, pouvant résister à la crue du fougueux torrent. Bientôt, trois baraques en bois, montées par les soins de J. Courtois, constituent le nouvel établissement et, au début de 1819, une digne protectrice est achevée.

En 1822, Giobert, professeur à l'Université de Turin, étudie les eaux de l'Echaillon et transmet au ministre qui l'avait délégué, une note favorable au développement de la station thermale.

Un canal pour l'écoulement des eaux est commencé en 1825, mais ne sera terminé que beaucoup plus tard.

Les tenaces et louables efforts pour les améliorations nécessaires se heurtent non seulement aux difficultés financières, mais au mauvais vouloir des ministres piémontais. Le Conseil de Saint-Jean, qui, en août 1834, avait décidé la fondation, par souscriptions, d'une société devant participer aux frais, en vient à l'abandon pur et simple à celle-ci des sources et de l'esplanade, depuis le pont au sommet de la digue.

La « Société des Eaux thermales de l'Echaillon » achète les baraques élevées par Courtois. On fait quelques travaux, mais on va petitement. En 1883 la société se dissout et la ville reprend possession des sources. L'exploitation et la vente des eaux est autorisée à la suite des analyses faites en 1881 par l'Ecole des Mines et en 1885 par l'Académie de Médecine.

La ville traite en 1893 avec J. Pitavino, qui doit opérer le captage, l'isolement des sources à lui cédées, ainsi que les constructions, pour un certain nombre d'années. Le volume d'eau débité empêche de dégager les alluvions et on a recours au forage. La ville et M. Pitavino sont bientôt en procès. M. Kilian, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, et M. Revil, pharmacien à Chambéry, chargés de l'expertise pour les travaux entrepris, font, en 1898, une étude intéressante de la situation géologique de l'endroit.

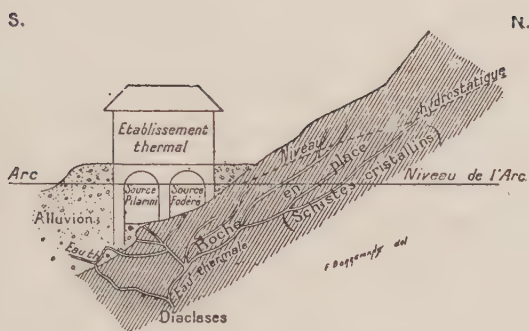
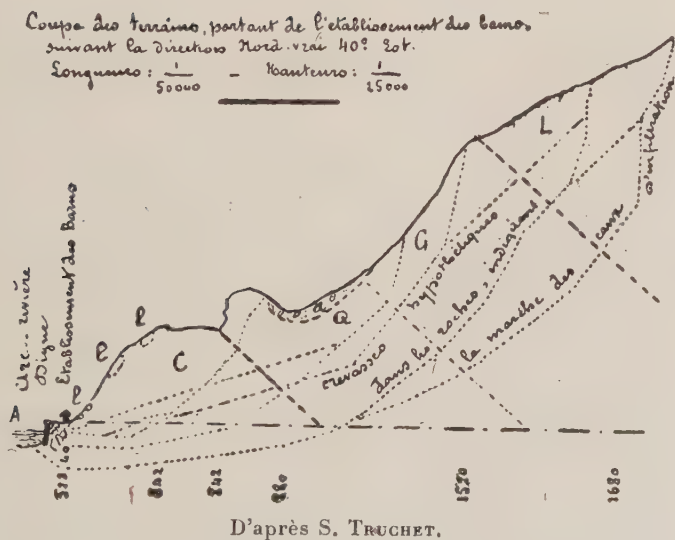


Fig. 2. — *Situation des sources thermales de l'Echaillon-les-Bains.*
D'après J. REVIL.



D'après S. TRUCHET.

En 1902, avec M. J. Tronel, concessionnaire des bains, nous avons des améliorations importantes. Un édifice solide, confortable, est créé, comprenant une salle de douches et huit cabines avec baignoires. L'esplanade est nivelée, sablée.

Aujourd'hui, on songe à un nouveau captage des eaux de l'Echaillon et, du fait de la radio-activité des sources, des modifications en vue du traitement sur place (emanatoria) seront apportées à l'établissement.

Etat des Sources

Signalons de suite l'ancien bassin construit vers 1741 par le roi Charles-Emmanuel III de Sardaigne, situé à quelques mètres de l'établissement, en remontant la rive droite de l'Arc et non utilisé. Carré, de petite dimension, formé de dalles épaisses, il renferme les deux sources célèbres au temps de Favre: la supérieure, source Caroline, et l'inférieure, source Vittoria. Leur débit est insignifiant. La première proviendrait d'une faille indépendante, et la deuxième de la même faille que les sources des bassins actuels, car par l'épuisement de ceux-ci, elle cesse de donner.

Les sources aujourd'hui captées déversent leurs eaux en deux bassins, complètement fermés, séparés l'un de l'autre par un mur de maçonnerie.

Le *bassin chaud* est le plus important par le débit : 600.000 litres en 24 heures, et la thermalité : 39°. Il est bâti sur alluvions, la quantité d'eau émise n'ayant pas permis à Pitavino et Lippmann d'en faire reposer les murs sur le rocher. Le sondage fait en 1902 s'enfonce sur 2 m. 45, verticalement, jusqu'au roc. « Le forage, disent les entrepreneurs dans leur rapport, a été tubé par deux tuyaux en tôle concentriques, ayant respectivement 210 et 165 ^{mm} de diamètre intérieur, dans l'intervalle desquels on a coulé, pour amener l'étanchéité des parois, un béton de ciment. »

Le tube central a été percé de trous à sa partie inférieure et s'élève de quelques centimètres dans une sorte de chambre souterraine de 200 mc. environ. Autour du griffon principal ont été réunis des griffons secondaires et leurs eaux arrivent en un même point dans le bassin, qu'un canal de décharge relie au torrent.

Dans le *bassin Fodéré*, nous ne voyons pas d'alluvions, pas de dallage en ciment. Les eaux y sourdent de la roche même, au pied d'une diacalse très visible. Le débit est faible.

Le thermomètre, au griffon principal, accuse 34°5. La température inférieure constatée pour ce bassin lui a fait donner le nom de bassin froid.

Différentes hypothèses ont été émises pour expliquer cette différence de température. La plus répandue repose sur l'arrivée au bassin d'un filet d'eau minérale n'ayant pas atteint des profondeurs aussi grandes que celle des griffons voisins, et par conséquent demeurée froide.

Le nouveau captage projeté détruira toute suspicion au sujet des infiltrations d'eaux étrangères (1). Les murs des chambres souterraines seront descendus jusqu'à la roche même et, les alluvions enlevées, on isolera les eaux à leur point d'émergence. La thermalité et le débit seront certainement augmentés (2).

Nature des Eaux

Les eaux de l'Echaillon sont classées parmi les eaux chlorurées sulfatées, thermales, que l'on rencontre en de nombreux endroits dans les Alpes françaises.

Résultant d'infiltrations météoriques, selon MM. Kilian et Revil, elles se minéralisent, nous avons dit, dans la bande de terrain triasique gypsifère et légèrement salifère, qui affleure au-dessus de Montandré et de Champessuit. Elles pénètrent en profondeur par des fissures de roches cristallines où elles acquièrent leur thermalité. Elles remontent, grâce à la pression hydrostatique des eaux froides descendantes plus denses, dans les fentes du granite et viennent sourdre des diaclases de schistes cristallins d'où elles gagnent les alluvions de l'Arc.

Fantoni, autour de 1700, et Bianchi, vers 1740,

(1) L'eau qui suinte d'un des murs du bassin chaud est identique à celle du griffon principal.

(2) Le tube Pitavino ne recueille qu'une partie des eaux coulant à la surface du rocher. Le reste se perd dans les alluvions de l'Arc.

firent quelques essais analytiques sur ces eaux. En 1822, Giobert donna les principes minéralisateurs suivants :

- Acide carbonique libre.
- Carbonate soluble de chaux.
- Carbonate soluble de magnésie.
- Carbonate soluble de fer : peu.
- Sulfate de soude.
- Sulfate de magnésie.
- Sulfate de chaux : peu.
- Muriate de soude.
- Muriate de chaux : peu.
- Muriate de magnésie : peu.

« Les eaux de l'Echaillon, dit Giobert, sont très évidemment acidules. Elles rougissent promptement et assez fortement le papier coloré par la teinture de tournesol. »

Cette réaction, aux Bassins Chaud et Fodéré, fut pour nous négative. Les eaux ont subi des variations dans leur composition, et les résultats de nos analyses apporteront la preuve du changement.

La température au Bassin des Ducs de Savoie était, toujours d'après Giobert, 31 à 32 degrés, échelle de Réaumur. « Plusieurs, parmi les habitants, affirmaient l'avoir observée brûlante. »

« La pesanteur spécifique » accusait 1002.

Pour le chimiste piémontais, les sédiments déposés par le repos n'étaient que « très peu de molécules de sable très fin ». « Un mélange de gaz acide carbonique et d'un fluide aériforme moins bon que l'air

commun » constituait « le gaz qui agite les eaux à leur source », dans lequel il ne chercha pas à déterminer la proportion d'oxygène et d'azote.

En 1841, Calloud et Mottard, dans le « Journal de Savoie », signalèrent la présence de l'iode dans les eaux de l'Echaillon.

Une analyse faite en 1881 par M. Carnot, au laboratoire de l'Ecole des Mines, indiqua :

Acide carbonique libre	0 gr. 0281
Bicarbonate de chaux	0 gr. 6379
Bicarbonate de magnésie	0 gr. 0460
Bicarbonate de protoxyde de fer....	0 gr. 0160
Chlorure de sodium.....	3 gr. 6071
Chlorure de potassium	0 gr. 0275
Chlorure de lithium	traces
Sulfate de chaux	0 gr. 8447
Sulfate de magnésie	0 gr. 3351
Sulfate de soude	0 gr. 2206
Silice	0 gr. 0425
Matières organiques	traces
TOTAL.....	5 gr. 8009

Quelques critiques s'étant élevées sur le mode de prélèvement des eaux pour cet examen, on procéda, en 1885, à un envoi, avec toutes les précautions exigées, à l'Académie de Médecine. Les résultats donnés furent, par litre :

Bicarbonate de chaux	0 gr. 624
Bicarbonate de magnésie	0 gr. 030
Bicarbonate de fer.....	0 gr. 018

Chlorure de sodium	3 gr. 400
Sulfate de chaux	0 gr. 792
Sulfate de magnésie	0 gr. 040
Alcalins	0 gr. 230
Silice	0 gr. 040
TOTAL.....	5 gr. 174

Le 3 août 1924, nous fîmes à l'Echaillon un prélèvement, aux bassins Chaud et Fodéré en vue de certaines déterminations physiques et chimiques. La quantité de chlorure de sodium se révéla notablement supérieure à celle trouvée par l'Ecole des Mines et l'Académie de Médecine.

L'analyse, sur un deuxième prélèvement du 9 septembre, confirma la variation subie, et comme celle-ci se rapporte surtout au chlorure de sodium (5 gr. 733 par litre au bassin Chaud) (1), on peut l'expliquer par le fait que certaines fissures ou poches, dans les terrains salifères traversés, se sont agrandies avec le temps, et offrent une plus grande surface de contact aux eaux, qui s'y chargent naturellement dans une plus forte proportion de sel.

Allant plus loin dans nos recherches analytiques, nous rencontrâmes cet élément important non encore signalé : l'arsenic.

En octobre, de l'eau prélevée spécialement nous permit de décèler de façon très nette le brome et l'iode. De ce dernier, depuis Calloud, on n'avait plus

(1) 5 gr. 879 NaCl par litre au griffon Fodéré.

5 gr. 670 NaCl par litre au bassin Fodéré (mélange des eaux du griffon Fodéré et de griffons secondaires).

reparlé et on avait conclu à sa présence intermittente dans les eaux thermales de l'Echaillon, par infiltration des eaux d'une source voisine iodurée.

Le lithium, le manganèse, l'aluminium enfin, existent à l'état de traces manifestes.

Nous verrons plus loin que la source Fodéré (notre prélèvement y a été fait au point de sortie de la roche même), diffère peu de la source Chaude, soit par la température, soit par la composition.

Les quelques auteurs parlant des sédiments les ont dit contenir des sels de fer, de la chaux, de la silice.

Nous y avons caractérisé l'arsenic, en assez forte quantité, puis le magnésium, l'aluminium, des traces de cuivre et de manganèse. Il ne nous a pas été possible, par contre, d'obtenir les réactions du baryum et du strontium.

Savoir en quelle combinaison était l'arsenic dans ces dépôts nous a paru intéressant, et à l'examen nous nous sommes trouvés en présence de composés oxygénés et non d'arséniures.

Au bassin Chaud, les gaz spontanés, ce mélange de gaz acide carbonique et de fluide aériforme de Giobert, se dégagent en abondance.

L'acide carbonique et l'oxygène y sont en faible pourcentage par rapport à l'azote. Point de méthane, point d'hydrogène. La détermination des gaz rares (1) a été confiée à M. Lepape, chef du laboratoire de chimie de M. Moureux, au collège de France.

(1) Voir plus loin.

RÉSULTATS DE NOTRE ANALYSE des eaux des Sources Chaude et Fodéré et de leurs sédiments.

La transformation en sels des éléments fournis par l'analyse n'obéit pas à une règle absolue et les combinaisons établies sont quelque peu arbitraires et hypothétiques. Aussi nos résultats ont été calculés en anhydrides et en ions.

Pour bien saisir la différence survenue dans la composition des eaux de la source Chaude depuis 1881, nous avons cru devoir donner en ions également les résultats de l'analyse faite à l'époque, par l'Ecole des Mines.

SOURCE CHAUDE

Gaz spontanés

Acide carbonique CO ²	6,3 %
Oxygène O	0,63 %
Hydrogène et Méthane	néant
Azote et indéterminés (gaz rares) ⁽¹⁾	93,07 %

Gaz dissous

dans 1 litre d'eau

Acide carbonique CO ²	54 cc. 50
Oxygène O	2 cc. 10
Azote Az	18 cc. 30
TOTAL	74 cc. 90

(1) Dans une analyse des gaz spontanés faite par M. Lepape au laboratoire de M. le professeur Moureaux, à l'Institut d'hydrologie de Paris, et communiquée par M. Gravier, au moment de l'impression de notre thèse, nous relevons :

gaz rares	1.42 %
soit : argon + traces de Krypton et Xénon	0.91
Hélium + traces de Néon	0.51

Température au griffon	39°
Densité à 0°	1.0096
Viscosité à 16°	0.01195
(pour l'eau distillée à 16° = 0.01457).	
Indice de réfraction à 15°	1.3348
Abaissement du point de congélation Δ =	- 0.40
Résistivité à 19°	93 ohms
Degré hydrotimétrique total	106.5
Degré hydrotimétrique permanent	100.36
Alcalinité totale en CO ² Ca	0 gr. 2900
Alcalinité permanente en CO ² Ca	0 gr. 0972
Extrait à 105°-110°	7 gr. 7285
Extrait à 180°	7 gr. 626
Résidu fixe au rouge	7 gr. 497
Résidu sulfaté	8 gr. 880

Composition en Anhydrides par litre

Oxyde de sodium (Na ² O)	3 gr. 0398
— de potassium (K ² O)	0 gr. 0672
— de lithium (Li ² O)	0 gr. 000688
— de calcium (CaO)	0 gr. 5657
— de magnésium (MgO)	0 gr. 1158
— de fer (ferreux) (FeO)	0 gr. 002058
— de manganèse (MnO)	traces
— d'aluminium (Al ² O ³)	traces
Chlore (Cl)	3 gr. 47745
Brome (Br)	0 gr. 00108
Iode (I)	0 gr. 0001071
Anhydride sulfurique (SO ³)	0 gr. 8432
— phosphorique (P ² O ⁵)	0 gr. 001259

—	arsénique (As^3O^3).....	0 gr. 0000612
—	silicique (SiO^3)	0 gr. 02126
—	carbonique (CO^3)	0 gr. 340000

Résultats de l'analyse en ions

(Poids atomiques

de la Commission Internationale, 1911)

I. Cations

	Grammes	Poids at mique		Valence	Ions monovalents
Sodium .. Na..	2.25554	23.00 =	0.098066	$\times 1$	= 0.098066
Potassium. K..	0.0558	39.10 =	0.001427	$\times 1$	= 0.001427
Lithium .. Li..	0.00032	6.94 =	0.0000461	$\times 1$	= 0.0000461
Calcium . Ca..	0.40440	40.09 =	0.010087	$\times 2$	= 0.020174
Magnésium Mg..	0.06986	24.32 =	0.00287	$\times 2$	= 0.005742
Fer Fe..	0.00160	55.85 =	0.00002864	$\times 2$	= 0.00005728
Somme des cations.....					0.12546628

II. Anions

Chlore .. Cl	3.47745	:	35.46 =	0.098066	$\times 1$	= 0.098066
Brome .. Br	0.00108	:	79.92 =	0.00001351	$\times 1$	= 0.00001351
Iode I	0.0001071	:	126.92 =	0.000000843	$\times 1$	= 0.000000843
Acide sulfuri-						
que SO'	1.01180	:	96.07 =	0.0105319	$\times 2$	= 0.0210638
Acide phos-						
phor. PO'H	0.001702	:	96.048 =	0.00001772	$\times 3$	= 0.00005316
Acide arséni-						
que ASO'H	0.0000745	:	139.968 =	0.0000005322	$\times 3$	= 0.0000015966
Acide silici-						
cique SiO ³	0.02691	:	76.30 =	0.0003526	$\times 2$	= 0.0007052
Somme des anions.....						0.1199041096

Somme des cations..... 0.12546628

Somme des anions 0.1199041096

Reste en CO^3 0.0055621704

exprimé en ions monovalents

Comme CO^2 est un ion bivalent, ce nombre divisé par 2 donne le nombre des anions de CO^2

$$0.0055621704 : 2 = 0.0027810852$$

Ceci correspond à

$$0.0027810847 \times 60 = 0.166865 \text{ CO}^2 \text{ 0/00}$$

$$\text{ou acide carbon. comb.} = 0.122367 \text{ CO}^2 \text{ 0/00}$$

Calcul de l'acide carbonique libre

La totalité de l'acide carbonique

$$(\text{CO}^2) \text{ est de } \dots\dots\dots 0.340000$$

sur lesquels il y a comme acide

$$\text{combiné } \dots\dots\dots 0.122367$$

Il reste pour l'acide carbonique

$$\text{libre + demi-combiné } \dots\dots\dots 0.217633 \text{ CO}^2 \text{ 0/00}$$

Donc pour l'acide carbonique de-

$$\text{mi-combiné } \dots\dots\dots 0.122367$$

Il reste pour l'acide carbonique

$$\text{libre } \dots\dots\dots 0.095266 \text{ CO}^2 \text{ 0/00}$$

La présence de manganèse et d'aluminium mis en évidence, mais à l'état de traces faibles, n'est pas intervenue dans le calcul en ions.

Les eaux de l'Echaillon renferment des substances organiques azotées qui se transforment totalement en azote ammoniacal, azote nitreux, azote nitrique. Voici

les résultats trouvés au moment du prélèvement sur l'eau de la source Chaude :

Azote total	2 mgr. 150 par litre
Azote ammoniacal.....	traces indosables
Azote nitreux	néant
Azote nitrique	néant

Quinze jours après le prélèvement, le dosage de l'azote ammoniacal, de l'azote nitreux et nitrique, nous a donné :

Azote ammoniacal	en az. 0 mgr. 854 p ^r lit.
Azote nitreux+azote nitriq. en az.	1 mgr. 279 »

L'azote organique se transforme donc, en totalité ou presque, en azote ammoniacal d'une part, en azote nitreux et nitrique d'autre part. Pareil fait avait été signalé par M. le Professeur Barral pour des eaux renfermant des nitrites après exposition à la lumière du soleil.

SEDIMENTS *de la Source Chaude*

Oxyde de cuivre (Cu O)	0.047
Oxyde ferreux (Fe O)	0.576
Oxyde ferrique (Fe ² O ³)	50.385
Oxyde d'aluminium (Al ² O ³)	2.300
Oxyde de manganèse (Mn O).....	traces
Oxyde de calcium (Ca O)	9.625
Oxyde de magnésium (Mg O).....	0.549
Oxydes alcalins	traces

Anhydride silicique (Si O^2)	16.300
Anhydride carbonique (CO^2)	6.480
Anhydride phosphorique (P^2O^5)	0.050
Anhydride arsénique (As^2O^5)	1.390
Anhydride sulfurique (SO^3)	0.634
Chlore (Cl)	traces

TOTAL des éléments dosés..... 88.336

Eau et substances organiq. par différence 11.664

Matières organiques azotées traces net.

Outre les éléments indiqués ci-dessus, nous avons recherché spécialement le plomb, le baryum, mais nous n'avons pu les caractériser chimiquement.

SOURCE FODÉRÉ

Température au griffon	34°5
Abaissement du point de congélat. $\Delta =$ —	0.405
Degré hydrotimétrique total	108°08
Degré hydrotimétrique permanent	97°27
Extrait à 105°-110°	7 gr. 9645
Extrait à 180°	7 gr. 797
Résidu fixe au rouge	7 gr. 6995

Composition en anhydrides par litre

Oxyde de sodium (Na^2O)	3 gr. 1477
Oxyde de potassium (K^2O)	0 gr. 07235
Oxyde de calcium (Ca O).....	0 gr. 5843

Oxyde de magnésium (Mg O)	0 gr. 1367
Chlore (Cl)	3 gr. 5670
Anhydride sulfurique (SO ³)	0 gr. 8548
Anhydride silicique (Si O ²)	0 gr. 02752

Résultats de l'analyse en ions
(Poids atomiques
de la Commission Internationale 1911)

I. *Cations*

Sodium	Na	2.3354	:	23	=	0.1015	×	1	=	0.1015
Potassium	K	0.060069	:	39.1	=	0.001536	×	1	=	0.001536
Calcium	Ca	0.41764	:	40.09	=	0.010417	×	2	=	0.020834
Magnésium	Mg	0.08251	:	24.32	=	0.003392	×	2	=	0.006784

II. *Anions*

Chlore	Cl	3.5670	:	35.46	=	0.100592	×	1	=	0.100592
Acide sulfurique SO ⁴		1.02573	:	96.07	=	0.010676	×	2	=	0.021352
Acide silicique SiO ³		0.03483	:	76.3	=	0.0004564	×	2	=	0.0009128

SEDIMENTS

de la Source Fodéré

Oxyde de cuivre (Cu O)	0.0184
Oxyde ferreux (Fe O)	0.5130
Oxyde ferrique (Fe ² O ³)	39.5300
Oxyde d'aluminium (Al ³ O ³)	2.0800
Oxyde de manganèse (Mn O)	traces
Oxyde de calcium (Ca O)	16.9900
Oxyde de magnésium (Mg O)	1.3940
Oxydes alcalins	traces

Anhydride silicique (Si O^2)	14.4300
Anhydride carbonique (CO^2)	11.6000
Anhydride phosphorique (P^2O^3)	0.1390
Anhydride arsénique (As^2O^3)	1.1250
Anhydride sulfurique (SO^3)	0.6880
Chlore (Cl)	traces
TOTAL des éléments dosés.....	88.5074
Eau et substances organiq. par différence	11.4926
Matières organiques azotées	traces net.

De même que dans les sédiments de la Source Chaude, les recherches spéciales pour le plomb, le baryum, n'ont donné aucun résultat.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE LA SOURCE CHAUDE PAR L'ÉCOLE DES MINES EN 1911

Calculés en Anhydrides

Oxyde de sodium (Na^2O)	2.008948
Oxyde de potassium (K^2O)	0.01737
Oxyde de calcium (Ca O)	0.56859
Oxyde de magnésium (Mg O)	0.12489
Oxyde de fer (ferreux) (Fe O)	0.006463
Chlore (Cl)	2.20097
Anhydride sulfurique (So^3)	0.8437
Anhydride silicique (SiO^2)	0.04249
Anhydride carbonique (CO^2)	0.40994

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE LA SOURCE CHAUDE

PAR L'ÉCOLE DES MINES EN 1881

CALCULÉS EN IONS

I. *Cathions*

Sodium		Na	1.49051	:	23.00	=	0.06481	×	1	=	0.06481
Potassium	...	K	0.01442	:	39.10	=	0.000371	×	1	=	0.000371
Calcium		Ca	0.4064	:	40.09	=	0.01013	×	2	=	0.02026
Magnésium	...	Mg	0.075334	:	24.32	=	0.003097	×	2	=	0.006194
Fer		Fe	0.005024	:	55.85	=	0.00008995	×	2	=	0.0001799

II. *Anions*

Chlore		Cl	2.20097	:	35.46	=	0.06206	×	1	=	0.06206
Acide sulfurique		SO ⁴	1.0124	:	96.07	=	0.01053	×	2	=	0.02106
Acide silicique		SiO ³	0.05377	:	76.30	=	0.0007047	×	2	=	0.0014094
Acide carbonique		CO ³	0.55902	:	60.00	=	0.009317	×	2	=	0.018634

CHAPITRE III

Méthodes de recherches

I. — ESSAIS DE POTABILITÉ

Avant de les utiliser en boisson, on doit soumettre les eaux à un examen bactériologique. On procède en outre à la recherche des nitrites, au dosage de l'azote ammoniacal et organique, des matières organiques.

Si pures que soient les eaux, elles renferment toujours de faibles quantités d'azote ammoniacal (de 5 à 10 centièmes de milligramme), d'azote organique (de 2 à 10 centièmes de milligramme), et d'azote nitrique (quelques milligrammes). Les eaux de bonne qualité ne contiennent pas d'azote nitreux.

On peut observer une fermentation biologique épuratrice sous l'influence des microbes vivant en saprophytes dans les eaux. La molécule organique azotée est attaquée, elle se transforme en acides aminés de structure de plus en plus simple, et, par dégradations successives, aboutit à l'azote ammoniacal. Les bacté-

ries nitrifiantes entrant en jeu, l'azote ammoniacal oxydé donne de l'azote nitreux, et ce dernier de l'azote nitrique terme ultime de l'épuration spontanée des eaux. Au cours de ces transformations, les microbes pathogènes, peu résistants, sont détruits.

Nitrites : Pour cette recherche, de nombreux réactifs ont été proposés (r. de Tromsdorff à l'iodure de zinc amidonné; r. de Griess à l'acide sulfanilique et sulfate de naphtylamine). Le *réactif de Lombard* (1) est d'une grande sensibilité. On le prépare en dissolvant à chaud 1 gr. d'acide sulfanilique dans 100 cc. d'une solution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque pur. On ajoute ensuite 1 gr. 5 de phénol, puis 100 cc. d'acide chlorhydrique sensiblement double normal.

Pour l'emploi, on verse dans 50 cc. d'eau 1 cc. de réactif. On laisse réagir un quart d'heure au minimum, et on rend alcalin par un excès d'ammoniaque dont 1 cc. suffit. En présence de nitrites, il se forme une coloration jaune plus ou moins intense.

Le réactif se conserve bien, mais si l'on s'en sert rarement, il est préférable de remplacer les 100 cc. d'acide chlorhydrique par de l'eau distillée. Dans ce cas, au moment de la recherche des nitrites, on ajoute à 50 cc. d'eau, 1 cc. du réactif non acide, et 1 cc. d'acide chlorhydrique approximativement normal.

(1) *Bulletin Soc. chim. de France*, 1913, p. 304, t. XIII.

Azote total : On concentre 500 cc. d'eau à très faible volume, et on fait passer, après refroidissement, dans une fiole d'attaque. On ajoute 20 cc. d'acide sulfurique concentré et une goutte de mercure. Après une ébullition de deux heures, on transvase dans le ballon à distillation, on ajoute 80 centimètres cubes de soude caustique concentrée, pure, bien exempte de matières azotées, et aussitôt 5 cc. d'une solution de sulfure de sodium Na₂S. On attelle à l'appareil d'Aubin et distille en recueillant dans l'acide sulfurique N/20. On titre en retour l'ammoniaque dégagée dans la liqueur acide.

Azote ammoniacal : On distille 500 cc. d'eau en présence de magnésie, titre en retour comme précédemment l'ammoniaque dégagée dans une solution d'acide sulfurique N/20.

Azote nitrique et nitreux (méthode Dewarda) : Sur le résidu de l'opération précédente, on ajoute 2 gr. d'alliage Dewarda et 20 cc. de soude caustique. On laisse en contact 12 heures. On adapte le ballon sur l'appareil d'Aubin et distille. On titre en retour l'ammoniaque dégagée dans la solution d'acide sulfurique N/20.

Azote organique : On l'obtient par différence entre l'azote total et l'azote ammoniacal, plus l'azote nitrique et nitreux.

Matières organiques : Le dosage par le permanganate de potasse est le plus simple, le plus usité. Il convient toutefois d'opérer dans des conditions de

température, de durée de contact bien déterminées. La méthode comporte deux dosages : en liqueur acide, on n'attaque que les matières organiques complexes, tandis que l'urée, l'acide benzoïque, les produits amidés (leucine, tyrosine, etc.), restent à peu près inaltérés ; en liqueur alcaline, tous ces produits sont décomposés. Une plus forte réduction dans le deuxième cas indique une contamination probable.

Le mode opératoire est le suivant : Dans deux ballons contenant l'un 200 cc., l'autre 100 cc. d'eau, on verse 10 cc. d'acide sulfurique au quart et 10 cc. de solution titrée de permanganate de potasse. On laisse refroidir et on ajoute dans chaque ballon 10 cc. de solution de sulfate ferreux pour décolorer. On fait tomber goutte à goutte, au moyen d'une burette, la solution de permanganate jusqu'à coloration légèrement rose. La différence entre les volumes de permanganate employés dans chaque ballon fournit la quantité d'oxygène absorbé par 100 cc. d'eau.

Pour le dosage en liqueur alcaline, on procède de même façon, en remplaçant l'acide sulfurique par une solution de bicarbonate de soude.

II. — ANALYSE CHIMIQUE QUALITATIVE

On opère sur le résidu d'évaporation d'un litre d'eau, suivant les procédés habituels.

III. — ANALYSE CHIMIQUE QUANTITATIVE

GAZ SPONTANÉS. — Trois récipients nous servirent à la prise d'essai faite au point de dégagement des

gaz de la source chaude, et l'examen eut lieu le jour même, au laboratoire, avec l'appareil de Bunte.

L'acide carbonique, CO^2 , fut dosé par absorption avec la potasse, dont 1 cc. retient 40 cc. de CO^2 . La différence de volume des gaz, avant et après le traitement, indique le CO^2 absorbé. On n'utilise pas la lessive de soude pour cette opération, car le carbonate de sodium formé est difficilement soluble.

L'oxygène fut absorbé par l'hydrosulfite de sodium. La solution employée est, d'après la formule de Hartwig-Franzen, de 10 gr. d'hydrosulfite de sodium pour 50 cc. d'eau distillée, plus 50 cc. de soude à 10 %. L'absorption est terminée au bout de cinq minutes, d'après l'équation :



devenant en milieu alcalin :



Après le dosage de CO^2 et O, nous fîmes passer à plusieurs reprises le résidu gazeux dans un tube de Gaeger, contenant de l'oxyde de cuivre et chauffé au rouge sombre. La combustion n'amena aucune variation de volume. Donc, *pas d'hydrogène*.

L'action de la potasse 1/2 sur ce même résidu fut sans résultat. Il n'y avait pas de *méthane*.

Nous essayâmes de déterminer le volume des gaz rares après absorption de l'azote, par un mélange de magnésium pulvérisé et de chaux vive calcinée, dans un tube de quartz chauffé au rouge sombre. L'absorption fut complète, en raison d'espaces nuisibles que nous ne pûmes éviter dans le montage de l'appareil.

De toute façon, la quantité des gaz rares ne paraît pas très élevée.

GAZ DISSOUS. — Un ballon de verre de capacité connue, rempli d'eau de la source chaude, est muni d'un bouchon portant un tube abducteur. Ce tube, contenant de l'eau bouillie, plonge à son extrémité dans une cuve et sous une éprouvette pleine aussi d'eau bouillie. L'éprouvette est d'une grandeur suffisante pour recevoir la totalité des gaz. On chauffe le ballon dans un bain de chlorure de calcium, en solution saturée. Quelques minutes d'ébullition suffisent pour chasser les gaz dissous. Ceux-ci gagnent le haut de l'éprouvette, en même temps que de la vapeur d'eau qui, dans son trajet, élève la température et empêche les gaz de se redissoudre. On bouche l'éprouvette, où demeure une quantité d'eau insignifiante et on la transporte dans un grand récipient en verre plein d'eau. Après refroidissement, on mesure le volume gazeux en notant la température (t) et la pression barométrique (H), et on ramène le volume des gaz à 0° et 760, suivant la formule :

$$x = \frac{V (H - f)}{(1 + \alpha t) 760}$$

f = tension de la vapeur d'eau à la température t ,

α = 0.003677.

Les gaz dissous sont généralement constitués par l'acide carbonique, l'oxygène et l'azote. On peut y rencontrer l'hydrogène sulfuré et le méthane.

L'acide carbonique est dosé par absorption avec la potasse, dont un fragment est introduit dans l'éprouvette graduée. On agite. La diminution de volume correspond à CO_2 .

L'oxygène est absorbé par une solution alcaline de pyrogallol (1 vol. de solution de pyrogallol à 22 %, avec 5 à 6 fois son vol. de KOH concentrée), que l'on introduit au moyen d'une pipette recourbée et dont 1 cc. retient 12 cc. d'oxygène. L'absorption rapide à 15° est plus lente à des températures inférieures. Après agitation, on constate la nouvelle diminution de volume équivalant à la quantité d'oxygène.

L'azote constitue le résidu gazeux de l'éprouvette.

EXTRAIT SEC. — On évapore 500 cc. d'eau, au B. M., dans une capsule platine tarée. Le résidu est desséché à l'étuve à 110° pendant plusieurs heures. On pèse après refroidissement au dessiccateur. On a l'extrait sec à 110°.

Cet extrait est porté à l'étuve à 180°. Certains sels, ceux de Mg par exemple, ne perdent leur eau de cristallisation qu'à cette température. On laisse jusqu'à poids constant. On refroidit au dessiccateur et pèse.

On a l'extrait sec à 180°.

Si l'on maintient au rouge sombre, jusqu'à ce que les matières charbonneuses soient brûlées et que les cendres soient blanches, on a le résidu fixe au rouge, susceptible de renseigner sur les matières organiques contenues dans l'eau.

Le résidu sulfaté peut servir à la vérification de l'analyse. On l'obtient de la façon suivante : L'extrait à 180° est repris par l'acide sulfurique au 1/5 en excès. On évapore au B. M. et porte au bain de sable pour volatiliser SO_3H , dont on élimine les dernières traces

en calcinant au rouge sombre. On pèse le résidu refroidi.

SILICE. — On évapore à siccité un litre d'eau acidifiée par l'acide chlorhydrique, dans une capsule de platine. Au moment où la quantité d'eau est réduite à 20 cc. environ, on ajoute 10 à 15 cc. d'acide chlorhydrique. On recouvre la capsule, pour éviter les pertes par projections et on évapore à sec au B. M.. On ajoute de l'acide chlorhydrique et évapore au bain-marie, puis au bain de sable, en chauffant à 250°-300°. La silice est insolubilisée. On laisse refroidir et on reprend par quelques gouttes d'acide chlorhydrique. On additionne de 50 cc. d'eau distillée et maintient un instant au bain-marie bouillant. On filtre. La liqueur est mise de côté, ainsi que les eaux de lavage, pour des opérations ultérieures. La silice recueillie sur le filtre est desséchée à 100° à l'étuve. On calcine ensuite et pèse : on a SiO_2 . La silice peut être reprise par l'acide fluorhydrique et quelques gouttes d'acide sulfurique, pour en vérifier la pureté. Le résidu insoluble, s'il existe, est désagrégré par CO^+Na^+ et CO^+K^+ au rouge vif et la masse traitée par l'acide chlorhydrique est ajoutée au filtrat.

ALUMINE ET FER. — La liqueur recueillie après séparation de la silice est additionnée de quelques gouttes d'acide azotique pour peroxyder le fer, chauffée à l'ébullition. On traite par l'ammoniaque jusqu'à réaction faiblement alcaline. Le fer et l'alumine sont précipités. On laisse reposer et on filtre. Le précipité est

lavé à l'eau distillée bouillante. On sèche, calcine et pèse. On a le fer et l'aluminium sous forme de sesquioxides, Fe_2O_3 , Al_2O_3 .

Le précipité désagrégé par CO_3Na^2 est repris par l'acide chlorhydrique, et la solution versée dans un ballon est traitée par du zinc pur, afin de transformer le fer ferrique en fer ferreux. On ajoute, après refroidissement, une solution de sulfate de manganèse, qui empêchera le permanganate de potasse de réagir sur l'acide chlorhydrique et on titre par MnO_4K .

Du nombre de centimètres cubes employés, on déduit Fe_2O_3 . Par différence avec le précipité obtenu plus haut, on a Al_2O_3 .

CHAUX. — La liqueur ammoniacale, après séparation du fer et de l'alumine, est rendue acide par l'acide acétique à 50 %. On amène à l'ébullition, et on ajoute une solution d'oxalate d'ammoniaque en excès, goutte à goutte, tant qu'il y a un précipité. On laisse au repos 12 heures. L'oxalate de chaux est recueilli sur un filtre et lavé avec de l'eau distillée chaude, jusqu'à disparition de l'ammoniaque dans le filtrat. On sèche et calcine modérément dans une capsule de platine. Le carbonate de chaux, ainsi obtenu, refroidi, est repris par l'acide sulfurique au $1/5$ que l'on verse goutte à goutte, en léger excès. On évapore lentement au bain de sable. Ensuite, pour chasser les traces de SO_4H^2 , on porte au rouge sombre, avec précaution, sur un bec Bunsen, et au rouge vif pendant quelques minutes seulement, le sulfate de chaux étant dissociable.

Le poids du $\text{SO}^{\prime}\text{Ca}$, multiplié par 0.41176, donne la teneur en CaO .

MAGNÉSIE. — Le procédé suivant de Schmitz donne d'excellents résultats. On opère à chaud, les sels ammoniacaux, en ce cas, n'étant pas nuisibles.

La solution, débarrassée de la chaux, est concentrée, acidifiée par l'acide chlorhydrique. On traite par un excès de phosphate de sodium ou d'ammonium et ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine. Dans la liqueur portée à l'ébullition, et encore chaude, on verse goutte à goutte, en agitant, de l'ammoniaque jusqu'à coloration rouge persistante. Le précipité commence à se déposer. On ajoute le $\frac{1}{5}$ du volume d'ammoniaque à 10 %. On filtre après refroidissement et repos. On lave avec de l'ammoniaque à 2 1/2 %. On sèche et calcine lentement, en élevant peu à peu la température, dans une capsule de platine tarée. Du poids de pyrophosphate de magnésie, on déduit MgO .

POTASSE ET SOUDE. — On peut opérer sur une partie de la liqueur filtrée après séparation du fer et de l'alumine. On additionne d'eau de baryte pour précipiter la chaux, la magnésie, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique. On filtre et lave à l'eau chaude. On précipite l'excès de baryte par un peu d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque. Le liquide est filtré, évaporé. On calcine légèrement le résidu pour chasser les sels ammoniacaux et reprend par l'acide chlorhydrique étendu. On évapore à siccité et on pèse les chlorures de potassium et de sodium.

Le mélange des chlorures est additionné d'eau distillée chaude et de quelques gouttes d'acide acétique. On amène au volume de 50 cc. et précipite par 10 cc. d'une solution de cobaltinitrite de sodium. On agite et laisse reposer 12 heures. On décante le liquide sur-nageant sur un creuset taré de Gooch. On lave le précipité avec 20 cc, en plusieurs fois, d'une solution d'acide acétique à 10 %, et on termine par un lavage avec l'alcool à 95°. Le précipité est séché à 100° et pesé. Le poids multiplié par 0.207 donne K₂O dans la prise d'essai.

K₂O est calculé en KCl. Par différence avec les chlorures totaux, on a NaCl, que l'on calcule à son tour en Na₂O.

LITHIUM. — Plusieurs litres d'eau sont réduits par évaporation. La liqueur est ensuite traitée par l'hydrate de baryte en excès, puis, par le carbonate d'ammonium en présence d'un excès de chlorure d'ammonium. On filtre, concentre. Le résidu, calciné pour chasser les sels ammoniacaux, est repris par l'acide chlorhydrique concentré, qui dissout la totalité du lithium, très peu de potassium et de sodium. On filtre à l'amiante sur un creuset de Gooch et on évapore à siccité. A ce résidu, l'alcool amylique enlève le chlorure de lithium. On évapore à sec. On traite par l'eau distillée et l'acide sulfurique dilué. On filtre sur une capsule tarée et évapore au bain-marie. On chauffe à feu nu, pour chasser SO₂H₂ en excès. On calcine légèrement et pèse.

ACIDE CARBONIQUE. — Dans un ballon jaugé, à deux traits (100 et 110), on verse 100 cc. d'eau et 10 cc. de réactif barytique (1). On bouche, agite et laisse reposer 24 heures. On vérifie par quelques gouttes de réactif, si l'acide carbonique est entièrement précipité. On filtre et lave à l'eau chaude le précipité qui contient, outre le carbonate de baryum, du sulfate de baryum. On traite par l'acide chlorhydrique dilué, qui ne dissout que le carbonate. On précipite par l'acide sulfurique. Le sulfate de baryum est lavé, séché, pesé. De son poids on déduit l'acide carbonique cherché.

L'eau à analyser contenant du carbonate de calcium, celui-ci peut précipiter en même temps que le carbonate de baryum. La liqueur chlorhydrique renferme donc du chlorure de calcium, qu, par l'acide sulfurique, se transformera en sulfate de calcium soluble dans les eaux de lavage. Ces eaux sont additionnées d'ammoniaque et d'oxalate d'ammonium. Le précipité d'oxalate de calcium est pesé à l'état de carbonate ; on en déduit l'acide carbonique combiné à la chaux. Le poids est ajouté au précédent. On a l'acide carbonique total.

L'acide carbonique combiné, demi-combiné et libre peuvent être connus d'après les indications du tableau d'analyse (page 58).

CHLORE. — Le chlore est dosé volumétriquement ou par pesée.

(1) Réactif barytique : on mélange 100 cc. d'une solution saturée de chlorure de baryum et 100 cc. d'ammoniaque. S'il se produit un louche, on décante. On conserve à l'abri de l'air.

Volumétriquement, on a recours à la méthode de Mohr ou de Charpentier-Wohlard.

Avec la première, on opère sur 100 cc. d'eau, que l'on rend légèrement acide par quelques gouttes d'acide azotique exempt d'acide chlorhydrique. On neutralise ensuite par une pincée de carbonate de chaux pur et, après avoir ajouté 5 à 6 gouttes d'une solution concentrée de chromate de potassium, on verse la solution titrée d'azotate d'argent (1), goutte à goutte, jusqu'à précipité rouge persistant de chromate d'argent.

Si l'eau est sulfurée ou renferme des hyposulfites ou des iodures en quantité appréciable, on fait disparaître ces produits, qui influent sur le dosage par oxydation, au moyen d'une solution à 10 % de persulfate de sodium ou d'ammonium, ajoutée dans l'eau à l'ébullition.

ACIDE SULFURIQUE. — 200 cc. d'eau sont acidulés par l'acide chlorhydrique, évaporés à sec à deux reprises et repris par l'acide chlorhydrique et 50 cc. d'eau distillée. La silice est insolubilisée. Le liquide filtré, recueilli dans un vase, est porté à l'ébullition. On y fait tomber goutte à goutte un léger excès de solution chaude de chlorure de baryum au vingtième et on laisse bouillir 20 minutes. Après un repos de 12 heures, le précipité est recueilli sur le filtre. On lave, sè-

(1) Solution de nitrate d'argent N/10 : on pèse 17 gr. de nitrate d'argent fondu et on fait avec de l'eau distillée et 1 cc. d'acide azotique pur 1 litre de solution que l'on conserve en flacon de verre jaune, bouché à l'émeri.

che, calcine, avec précaution et pèse. Du poids de SO^*Ba on calcule SO^3 .

ACIDE PHOSPHORIQUE. — 500 cc. d'eau sont, par évaporation, réduits à 100 cc. On ajoute 10 cc. d'acide nitrique à 25 % et 20 cc. d'une solution nitrique de nitrate d'ammonium à 34 %. On porte à 80° et dans le liquide chaud on verse en agitant 10 cc. d'une solution de molybdate d'ammonium à 3 %. Le phospho-molybdate d'ammonium est recueilli sur un filtre. On lave, on sèche et calcine avec précaution au moufle, jusqu'à transformation complète du précipité jaune en précipité vert noirâtre d'anhydride phospho-molybdique P^2O^5 (MoO^3)²⁴. Le poids multiplié par le facteur 0.03946 donne P^2O^5 .

IODE. — Dans une éprouvette de 125 cc. environ, on verse 100 cc. d'eau, que l'on neutralise, si alcaline, avec l'acide sulfurique. On acidifie ensuite par 1 cc. d'acide sulfurique N/1 et on ajoute 0 cc 3 d'une solution de nitrite de soude à 5 %. On laisse reposer 10 minutes et agite avec 2 cc. de chloroforme pur. On compare la teinte rose violacée du chloroforme avec une gamme de couleurs préparée au moment. On retrouve ainsi facilement le demi-milligr. d'ion iode contenu dans un litre d'eau.

BROME, méthode Denigès-Chelle. — Le dosage repose sur la formation d'un dérivé bromé de la rosaniline par l'action de l'ion brome sur une solution de fuchsine décolorée par l'acide sulfurique. La méthode,

simple et rapide, permet de déceler 0 milligr. 005 de brome.

Dans un tube de 20 cm. de longueur et 15 mm. de diamètre environ, on verse : 10 cc. d'eau, 8 gouttes d'acide chlorhydrique pur, 8 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %, 2 cc. d'acide sulfurique. On agite et plonge le tube dans l'eau froide. Au bout de 15 minutes, on ajoute 1 cc. de réactif fuchsiné (1) et 2 cc. de chloroforme pur. On agite vivement. La teinte rose du chloroforme est comparée avec une gamme de coloration préparée avec des solutions titrées de bromure de potassium.

En opérant à froid, on évite, en présence de chlorures, la formation de chlore libre. L'ion I n'est pas mis en liberté.

ARSENIC. — Pour les eaux, nous avons eu recours à la méthode colorimétrique de Sanger, modifiée par Cribier, et pour les sédiments, à la méthode gravimétrique, à l'état de pyro-arséniate de magnésie.

Un contrôle qualitatif a été fait au moyen de l'appareil de Marsh.

a) *La méthode colorimétrique*, d'une grande sensibilité, permet une appréciation minutieuse pour des teneurs en arsenic de 0 milligr. 0001 à 0 milligr. 1. Elle repose sur l'action de l'hydrogène arsenié sur le chlorure mercurique, les composés oxygénés de l'ar-

(1) Réactif fuchsiné : on prépare à chaud une solution aqueuse de fuchsine au millième et on en verse 10 cc. dans 100 cc. d'acide sulfurique au vingtième. Le mélange se décolore et peut être utilisé après une heure.

senic étant réduits par l'hydrogène naissant à l'état d'hydrure volatil AsH_3 . La coloration obtenue sur le papier imprégné de chlorure mercurique est jaune, orangé, rouge brun, selon les quantités d'arsenic. Elle est stable et spécifique de l'arsenic.



d'après T. Gribier.



d'après J. Gribier

Le dispositif comprend : un flacon à large ouverture de 120 à 150 cc., fermé par un bouchon de liège paraffiné, dans lequel est fixé un tube de verre de 5 mm. à 5 mm. 5 de diamètre intérieur, effilé à une extrémité en forme de compte-gouttes et de longueur

totale de 30 cm. environ. A 25 mm. de la pointe, est une petite ouverture circulaire de 3 mm. de diamètre. La pointe elle-même est à 35 mm. de la face inférieure du bouchon.

On introduit d'abord dans le tube une pièce de papier filtre enroulée de 4 cm. sur 10 cm., pour retenir l'eau, et ensuite une bande de papier au chlorure mercurique de 5 mm. de largeur sur 12 à 15 cm. de longueur.

Dans le ballon, on met 10 cc. d'eau distillée, 1 goutte de sulfate de cuivre à 1/10 et 8 gr. de zinc pur. On laisse minutes, en agitant. On décante et lave. On a le zinc activé, attaquable par l'acide sulfurique étendu, dont on ajoute 12 gr. et de l'eau distillée en quantité suffisante pour 75 cc. On laisse l'hydrogène se dégager dix minutes. L'appareil étant purgé d'air, on introduit une quantité mesurée de solution arsenicale. La coloration du papier au chlorure mercurique est rapide, maximum en 30 minutes environ. En comparant avec une échelle colorimétrique, on a la teneur en arsenic.

Le papier employé est le papier à dessin de Wathman, imprégné d'une solution de chlorure mercurique à 5 %. Les taches jaunes sont fixées par une solution d'iodure de potassium à 10 % et deviennent brun foncées. Elles sont lavées à l'eau distillée et séchées à la température ordinaire. La coloration est d'une stabilité parfaite.

Pour résoudre la plus ou moins grande rapidité de dégagement de AsH^3 suivant la présence d'arsénites ou d'arséniates, les arsénites sont transformés en ar-

séniates. L'oxydant employé est le permanganate de potasse, qui transforme à froid l'acide arsénieux en acide arsénique et son action s'exerce sur tous les composés d'oxydation inférieure du soufre, du phosphore, qu'il transforme en sulfates et en phosphates à froid par l'hydrogène naissant. L'hydrogène arsénié se dégage donc, à l'exclusion de l'hydrogène phosphoré ou sulfuré.

Quelques gouttes de permanganate de potassium à 1 p. 1.000 suffisent pour l'oxydation et 2 à 3 gouttes d'eau oxygénée diluée à 1 % font disparaître la coloration rose due à l'excès de permanganate.

b) *Méthode par pesée.* — Le précipité obtenu par l'hydrogène sulfuré dans la solution arsénicale est dissous dans l'ammoniaque chaude. On ajoute, pour chaque 0 gr. 1 de sulfure, 30 à 50 cc. d'eau oxygénée à 3 % ; on chauffe au bain-marie et quelques minutes à l'ébullition. La liqueur contenant l'arsenic à l'état d'arséniate est additionnée de 5 cc. d'acide chlorhydrique concentré, ensuite de 7 à 10 cc. de mixture magnésienne pour chaque 0 gr. 1 d'arsenic, et d'une goutte de phénolphtaléine. On verse de l'ammoniaque à 2 1/2 %, jusqu'à coloration rouge persistante et une quantité d'ammoniaque concentrée égale au tiers du liquide. On laisse au repos 12 heures, on filtre et lave avec l'ammoniaque à 2 1/2 % contenant 2 gr. % de nitrate d'ammonium, jusqu'à disparition du chlore dans le filtrat. Le précipité est dissous dans l'acide azotique étendu. On évapore à sec dans un creuset de porcelaine taré. On chauffe d'abord lentement,

tant qu'il se dégage des vapeurs et on élève la température au rouge blanc. On pèse, après refroidissement au dessiccateur, le pyro-arséniate de magnésie, $Mg^2As^2O_7$.

ANALYSE DES SÉDIMENTS

L'analyse des sédiments a été faite de la façon suivante :

Insolubilisation de la silice. Séparation et traitement du filtrat par l'anhydride sulfureux, pour réduire le fer et l'arsenic au minimum. Ebullition jusqu'à disparition de l'acide sulfureux et traitement à chaud par l'hydrogène sulfuré pendant un temps plus ou moins long, suivant l'abondance du précipité. Repos 12 heures. Précipité recueilli sur le filtre et mis à digérer à 60-70° avec l'ammoniaque. Filtration : résidu insoluble dans l'ammoniaque et contenant le cuivre ; filtrat contenant l'arsenic. Dosage du cuivre par colorimétrie, avec le ferrocyanure de potassium, dans la solution acide du résidu (1), et de l'arsenic, par pesée à l'état d'arséniate ammoniaco-magnésien.

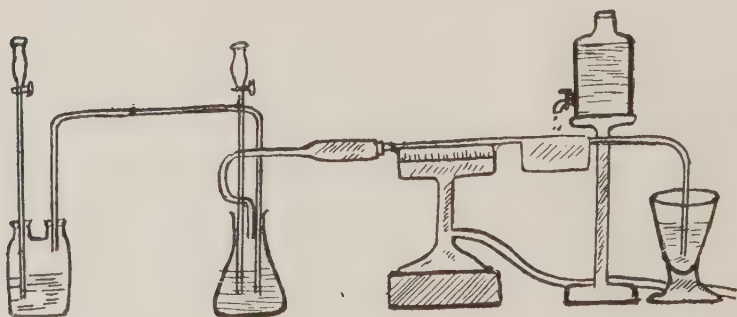
Dosage dans la liqueur, après séparation du précipité par l'hydrogène sulfuré, du fer, de l'alumine, de la chaux, etc., selon les méthodes employées pour l'eau.

(1) Le dosage du cuivre peut être fait sur une quantité d'eau déterminée après élimination de l'arsenic et précipitation du fer par l'ammoniaque.

**Recherche de la nature des composés arsenicaux
et des différents états d'oxydation du fer
dans les sédiments de la Source Chaude**

Dispositif de l'appareil

Un premier flacon à double tubulure de 150 cc. environ est muni d'un tube avec ampoule à robinet pour l'introduction des liquides (SO_4H^2), et d'un tube coudé pour le dégagement des gaz (H ou CO_2). Une



fioule conique, en verre pyrex, de même contenance que le premier flacon, lui est relié par le tube coudé amenant l'hydrogène ou l'acide carbonique. Au moyen de bouchon paraffinés y sont fixés un tube avec ampoule à robinet et un tube horizontal contenant du coton hydrophile, servant, comme dans l'appareil de Marsch, à dessécher les gaz (H ou CO_2 , et AsH^3). Un autre tube capillaire, portant à une de ses extrémités un bouchon paraffiné, s'adapte au précédent. Ce tube repose sur deux petites fourches mobiles au-dessus

d'une rampe à gaz. Un petit réfrigérant de papier constamment humide est placé à la suite de la rampe à gaz. La partie terminale est reliée à un petit tube coudé plongeant dans quelques centimètres cubes d'eau, de manière à contrôler le dégagement gazeux.

Recherche des composés arsenicaux

Dans le premier flacon (1), on introduit 6 à 8 gr. de zinc pur activé et 20 cc. environ d'acide sulfurique pur dilué au cinquième. On maintient 20 minutes, pour chasser l'air, le dégagement d'hydrogène pur (1), qui passe dans le deuxième flacon contenant le dépôt arsenical et s'en va vers le tube capillaire en quartz. On allume la rampe à gaz et lorsque le tube capillaire est au rouge, on fait tomber 5 cc. environ d'acide chlorhydrique pur dans le deuxième flacon, que l'on chauffe légèrement, pour dissoudre le précipité. Si aucun anneau ne se dépose sous le réfrigérant de papier, il n'y a pas d'arséniures (2).

On ajoute du zinc pur dans le deuxième flacon. L'anneau se formant très rapidement et abondamment, on peut déduire que l'arsenic est dans le dépôt sous forme de composé oxygéné (3).

(1) On peut, selon les indications de G. Bertrand, employer un appareil producteur d'acide carborique au lieu d'hydrogène.

(1) Ou d'acide carbonique pur.

(2) $\text{AsFe} + 3 \text{HCl} = \text{AsH}^3 + \text{FeCl}^3$.

(3) $\text{AsO}^4\text{H}^3 + 8 \text{HCl} + 4 \text{Zn} = 4 \text{ZnCl}^2 + 4 \text{H}^3\text{O} + \text{AsH}^3$.

Etats d'oxydation du fer

Une prise d'essai du dépôt à examiner est placée dans le deuxième flacon, avec 30 à 40 cc. d'eau distillée. On y fait arriver l'hydrogène pur pendant une vingtaine de minutes et on y verse quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré. On chauffe au bain de sable jusqu'à dissolution. On laisse refroidir. Après avoir ajouté une solution de sulfate de manganèse, on titre par MnO_4K N/10. Du nombre de centimètres cubes de permanganate employés, on déduit la quantité de fer à l'état ferreux. La différence entre ce fer calculé en oxyde ferrique et le fer total calculé aussi en oxyde ferrique donne la quantité de fer à l'état ferrique existant dans le dépôt.

DÉTERMINATIONS PHYSIQUES

L'analyse chimique peut être complétée par ces déterminations qui fournissent des renseignements très précieux au point de vue de la minéralisation de l'eau.

En ce qui concerne l'Échaillon, nous avons étudié la cryoscopie, la densité, l'indice de réfraction, la résistivité, la viscosité.

Cryoscopie. — Le nom donné par Raoult désigne la température de congélation des corps dissous. Cette température est fonction des molécules et des ions dans l'unité de volume. Le point de congélation est le même pour toutes les solutions isotoniques, c'est-à-

dire de même pression osmotique. On le détermine au moyen du cryoscope. L'appareil se compose essentiellement :

a) D'un thermomètre cryoscopique au réservoir entouré d'une spirale de fil métallique servant d'agitateur.

b) D'un tube à congélation contenant l'eau à examiner, dans laquelle est compètement immergé le réservoir du thermomètre.

c) D'une cuve à réfrigération. Le mélange réfrigérant où plonge le tube à congélation est fait de glace en morceaux de la grosseur de noisettes, et de très peu de sel marin. On préfère l'acétone refroidie par addition d'acide carbonique neige ou par le mélange sel-glace.

Pendant l'opération, le tube à congélation étant obturé avec un tampon d'ouate, on manœuvre l'agitateur avec une amplitude d'oscillations de 2 centimètres, et à raison d'un mouvement par seconde environ. Une agitation trop vive, provoquant de l'échauffement, fausserait les résultats. La descente du mercure ne doit pas être trop rapide. On amorce la cristallisation en projetant dans le liquide une petite parcelle de glace, au moment où le mercure atteint — 0°2 au-dessous du point supposé après un essai préalable. On continue à mouvoir l'agitateur, en frappant par petites secousses sur le haut du thermomètre, jusqu'à température d'arrêt, donnant le point de congélation. Celui-ci doit rester stable une minute au moins.

Densité : Méthode du flacon. — On se sert du flacon en verre mince de Regnault. Le bouchon creux, parfaitement rôdé, est surmonté d'un tube capillaire terminé à la partie supérieure par un petit entonnoir. Un trait d'affleurement est tracé sur le tube capillaire.

Le procédé consiste à peser deux volumes égaux d'eau minérale et d'eau distillée à 0°. P étant le poids de l'eau minérale à 0° et P' le poids de l'eau distillée à 0°, on a :

$$d' = \frac{P}{P'} \times 0,999871$$

$0,999871 = d =$ densité de l'eau distillée à 0°.

Le flacon taré, contenant l'eau minérale, est, avant la pesée, placé dans la glace jusqu'à ce que le niveau du tube capillaire demeure stationnaire, ce qui indique que l'équilibre de température est atteint. On amène le liquide au point d'affleurement en enlevant l'excès avec du papier buvard. On retire ensuite le flacon de la glace et on le laisse revenir à la température ordinaire. On le sèche soigneusement avant de le porter sur le plateau de la balance.

On opère identiquement avec l'eau distillée, dont on remplit le flacon rincé au préalable.

Indice de réfraction. — Diverses méthodes ont été proposées pour la mesure de cet indice. Avec le réfractomètre de Féry, nous avons employé la méthode dite de compensation.

Le principe sur lequel repose l'appareil consiste à annuler par un prisme solide, d'angle variable et d'indice constant, la déviation imprimée à un rayon lumineux par un prisme creux d'angle fixe, rempli du liquide dont on veut déterminer l'indice. Le prisme à angle variable est ici constitué par une bande de verre découpée radialement dans une lentille. L'angle du prisme varie d'une façon continue, depuis le centre optique, où il est nul, jusqu'aux bords, où il a une valeur finie.

L'équation à laquelle on aboutit dans le calcul de l'indice de réfraction donne :

$$x = 1 + kd$$

où k = constante de l'appareil, d = distance du point considéré à l'axe optique.

La formule montre que la simple mesure du déplacement qu'il aura fallu imprimer à la lentille pour compenser la déviation due au prisme liquide, suffit pour évaluer l'indice x .

Dans l'appareil de laboratoire, la lumière monochromatique sodée provenant d'un brûleur, tombe sur la fente d'un collimateur. Cette fente, qui est large, porte un réticule vertical. L'ensemble de la fente et du réticule peut être légèrement déplacé par une vis, pour le réglage. Les rayons sortant du collimateur tombent sur le prisme et sont ensuite reçus dans une lunette à réticule disposé en croix de saint André. Le prisme est porté par une plateforme en verre noir et se déplace, suivant sa longueur, perpendiculaire-

ment à l'axe optique de l'appareil, au moyen d'un bouton molleté placé au-dessous de la lunette. Dans son mouvement rectiligne, la glissière portant la cuve entraîne un vernier qui se déplace devant une graduation fixe donnant directement les deux premières décimales. Le vernier au $1/10$ donne les millièmes.

Le grand réfractomètre de Fery nous a permis d'avoir par simple lecture l'indice à une unité près de la quatrième décimale. Il est muni d'une cuve remplie d'eau pourvue d'un petit thermo-siphon et chauffée par une lampe, grâce à laquelle on peut mesurer les indices à des températures déterminées.

Résistivité. — Sous ce nom, on désigne la résistance d'un volume liquide ayant une épaisseur d'un centimètre et une base d'un centimètre carré.

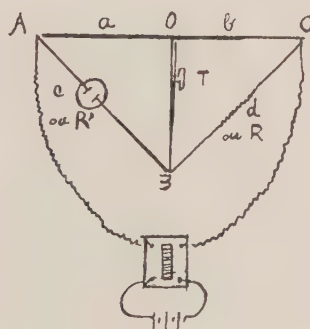
La mesure de la résistance est basée sur le principe du pont de Weaststone. Kolrausch, afin d'éviter l'électrolyse et l'action de la polarisation des solutions, emploie les courants alternatifs fournis par la bobine d'induction. Dans son dispositif, une cuve à électrodes platinées, dans laquelle on place l'eau à analyser et un thermomètre, constitue la résistance c inconnue. Un fil de platine iridié, tendu entre A et C, au-dessus d'une règle divisée en parties égales, représente les deux résistances a et b . Les valeurs de a et de b peuvent varier en déplaçant sur AC le point de contact O ou curseur. La résistance d est constituée par une boîte de résistance R. Le galvanomètre est remplacé

par un téléphone T. Si on déplace le point O (1), le téléphone est au silence quand on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{R'}{R}$$

et x représentant c ou R' , résistance inconnue :

$$x = R \frac{a}{b}$$



Pour la résistance spécifique ou résistivité, on a :

$$r = K \left(R \frac{a}{b} \right)$$

où le coefficient K , constante de cuve, tient compte de l'écartement des électrodes, de leurs dimensions, de leur parallélisme, du volume d'eau dans la cuve, de la température, de la nature et de l'intensité du courant.

(1) Le curseur appuyant sur le fil en platine iridié AC.

Viscosité. — Les mesures de viscosité ou frottement interne des liquides (1) fournissent une constante physique susceptible d'en caractériser la nature, souvent mieux que leur densité.

La méthode de Baume-Vigneron (2), comme celle d'Ostwald, repose sur la détermination des durées respectives d'écoulement du liquide essayé et du liquide type à travers un même tube capillaire convenablement choisi.

Le viscosimètre Baume-Vigneron comprend :

1° Une jaquette thermostatique permettant d'entourer la chambre laboratoire d'une atmosphère de vapeur assurant la réalisation d'une température rigoureusement constante.

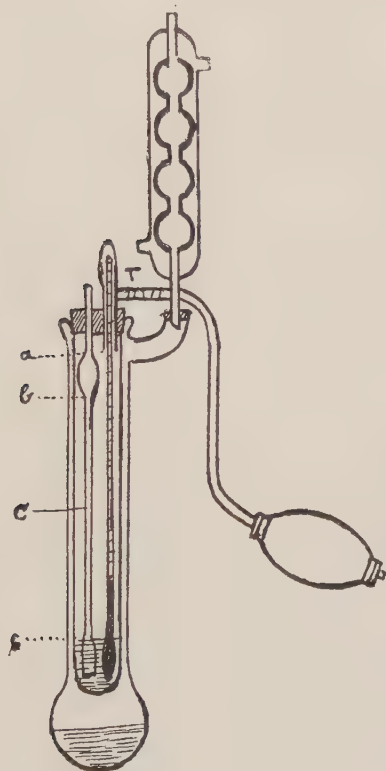
2° Un tube viscosimétrique composé d'un tube capillaire terminé à sa partie inférieure par un tube de plus grand diamètre portant un repère *c*. Le tube capillaire est surmonté d'une boule située entre les points de repère *a* et *b*. Il est fixé dans la jaquette thermostatique par un bouchon à deux trous. L'un de ces trous étant donc pour la tige du viscosimètre, l'autre porte un tube en T, dont une branche guide un thermomètre. La deuxième branche du tube sert à adapter une poire en caoutchouc.

3° Un chronographe de précision mesurant au cinquième de seconde des temps allant jusqu'à 30 minutes.

(1) Le coefficient de frottement interne ou de viscosité est le travail nécessaire pour déplacer en une seconde deux surfaces planes de un centimètre carré, parallèlement à elles-mêmes, d'une quantité égale à leur distance.

(2) *Annales de Chimie*, 1919 p. 381.

Mode opératoire. — On introduit dans le ballon de la jaquette le liquide thermostatique convenable avec quelques perles de verre et, dans la capacité laboratoire C, 20 cc. du liquide à essayer. On règle la hau-



teur du viscosimètre de manière que le liquide à essayer affleure exactement au trait de repère *c* et on s'assure que le viscosimètre est bien vertical. On fait bouillir le liquide de la jaquette, pour que le liquide de la capacité laboratoire prenne la température du

thermostat. Avec la poire en caoutchouc on fait monter le liquide de *c* un peu au-dessus du point de repère *a*, et on en suit aussitôt la descente. On déclanche le chronographe, lorsque le ménisque passe au trait *a*, et on l'arrête au moment où le ménisque est au trait *b*. On contrôle le résultat par une deuxième opération.

La viscosité absolue, en dynes par centimètre carré, est fournie par l'expression :

$$\eta = K.d.t.$$

K est la constante de l'appareil, *t* le temps d'écoulement, *d* la densité du liquide à la température de l'expérience.

Identification des Eaux minérales

Après l'exposé des méthodes de recherches analytiques, nous croyons devoir signaler le procédé d'identification des eaux minérales, connu sous le nom d'aquamétrie. « Il n'y a pas, dit Bonjean, deux eaux minérales qui renferment les mêmes éléments en même quantité. » Pour différencier ces eaux, pour reconnaître leur authenticité, l'analyse complète n'est pas nécessaire et quatre facteurs sont reconnus suffisants. Ce sont :

1° *L'alcalinité totale et permanente.* — Celle-ci se mesurant comme celle-là sur 100 cc. d'eau avec une solution d'acide sulfurique N/10, en présence d'orangé

Poirrier n° 3, mais après ébullition prolongée et séparation des carbonates alcalino-terreux précipités ;

2° *Les chlorures* dosés volumétriquement au nitrate d'argent ;

3° *Les nitrates* évalués par la méthode Grandval et Lajoux, au moyen du réactif sulfo-phéniqué ;

4° *Le degré hydrotimétrique total et permanent*, obtenu à l'aide d'une solution hydro-alcoolique de savon titrée qui, avec les sels alcalino-terreux de l'eau forme des composés insolubles.

Le dosage des sulfates, si on le juge nécessaire, effacera toute incertitude pouvant survenir.

CHAPITRE IV

Radioactivité des Sources de l'Echaillon

Sans diminuer l'importance de leur constitution physico-chimique, il faut reconnaître que la radioactivité des eaux semble en expliquer la valeur curatrice particulière à leur point d'émergence. C'est là « l'esprit subtil » dont parlent les Anciens et que les Romains qualifient de « *quid divinum* ».

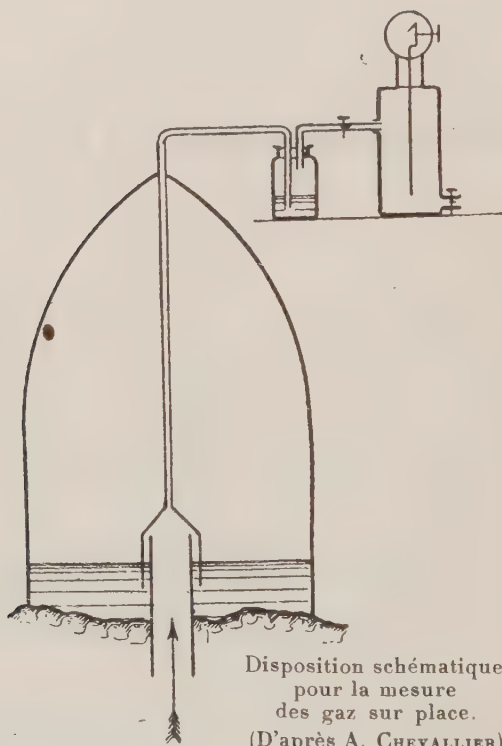
Cette radioactivité n'est pas liée à la thermalité, puisqu'elle se rencontre dans des sources froides. Elle est due à la présence du radium, du thorium, de l'uranium ou de quelque autre substance.

Du sol qui contient ces éléments rares se dégagent des émanations radioactives qui provoquent la conductivité de l'air.

Cette dernière particularité fut constatée au voisinage des sources de l'Echaillon, par M. G.-A. Blanc, de l'Université de Rome, au moyen de l'électromètre, en 1904.

M. Blanc détermina l'émanation contenue dans les eaux de ces sources en faisant barboter dans une

quantité connue de celles-ci un certain volume d'air, à travers un flacon à double tubulure, et de façon à charger de gaz radioactif cet air dont il mesura la conductivité. Il conclut que la radioactivité des eaux de l'Echaillon était de l'ordre de celle du radium.



Disposition schématique
pour la mesure
des gaz sur place.
(D'après A. CHEVALLIER)

Des récents travaux de M. le Docteur Chevallier, il résulte que l'eau de la Source Chaude possède en émanation de radium une activité de 0,36 millimicrocuries par litre, à l'émergence.

Les gaz libres, en abondance à cette dernière source, retinrent l'attention de M. Chevallier. Il les

mesura sur place, au moyen d'un dispositif **spécial** évitant le mélange avec l'air du bassin : une cloche en tôle recouvrant le griffon était reliée par un tube mince parfaitement étanche, long de 5 m. 50, à un flacon laveur contenant de l'acide sulfurique. De suite après le flacon laveur était un cylindre déperditeur surmonté de l'électroscope. Dans ces conditions, un litre de gaz renfermait 11,5 millimicrocuries d'émanation de radium. A distance, après transport, le résultat obtenu était de 11,15 millimicrocuries.

Les Sédiments des eaux de l'Echaillon se révélèrent, dans une étude comparative faite par M. Blanc, les plus puissants parmi ceux des eaux de la Savoie. La radioactivité fut déterminée par la chute de potentiel en volts subie en une heure par l'électromètre, soumis à l'action de 10 gr. de la substance desséchée et pulvérisée, le terme de comparaison étant l'effet produit par 10 gr. de nitrate d'urane. Voici les chiffres publiés :

Nature de la substance	Chute de potentiel en volts, par heure
<i>Echaillon</i>	
Sédiment brun foncé au griffon du bassin	
chaud	936.0
Dépôt provenant du réservoir de distribution	312.0
Dépôt provenant du puits Fodéré	122.9
<i>Salins-Moûtiers</i>	
sédiment ocreux au griffon Grande Source	128.8
— — — dans le canal	72.0
— — — dans le canal (Petit Source)	56.0

Nature de la substance

Chute de potentiel
en volts, par heure

Aix-les-Bains

Barégine (Source Alun)	19.4
Dépôt grisâtre dans le canal	11.2
Boue grise au griffon (Source du Soufre)....	4.9

Challes-les-Eaux

Boue grise chargée de soufre	3.3
Nitrate d'urane	5.752.0

Les sédiments du bassin chaud étaient donc d'une activité six fois inférieure seulement à celle du nitrate d'urane.

M. Blanc, constatant que l'activité des sédiments, dans certains cas, n'est pas proportionnelle à la teneur des eaux en émanation du type radium, en arriva à conclure que, pour l'Echaillon, elle était due en majeure partie à des principes radioactifs du type thorium. Il ne put toutefois, « après des efforts patients et prolongés, obtenir la séparation d'une quantité de thorium chimiquement appréciable ». Il arriva à concentrer l'activité en des quantités infimes de substance.

« Le procédé consistait à attaquer le sédiment par l'acide chlorhydrique étendu, ce qui avait pour effet de faire passer en solution la plus grande partie du fer, tandis que presque toute l'activité du type thorium restait dans le résidu insoluble. Ce résidu, traité par l'eau régale, évaporé à sec et repris par l'acide chlorhydrique dilué fournissait par filtration une so-

lution contenant encore une petite quantité de fer. De cette solution, on obtenait par l'ammoniaque un précipité d'hydrates que l'on traitait par une solution d'acide oxalique ; après filtration, on calcinaient le résidu insoluble et on le reprenait ensuite par un mélange d'acide sulfurique et d'eau en parties égales. Cette dernière solution filtrée donnait, par l'ammoniaque, un précipité d'hydrates présentant une activité et un pouvoir émanant plusieurs centaines de fois supérieurs à ceux d'un égal poids de thorium. »

Si donc des substances ne contenant pas ce dernier corps étaient douées d'une activité « du type thorium le plus pur », il fallait admettre que les phénomènes observés chez les sels de thorium, eux-mêmes, n'étaient pas dus à une propriété intrinsèque de cet élément, mais « à des traces d'un nouveau corps intensément actif ».

Ces résultats étaient confirmés par les travaux de MM. Elster et Geitel, puis par ceux de M. Hahn, physicien anglais, sur la thorianite, minéral de l'île de Ceylan.

M. W. Ramsay, au Congrès international de Liège, en 1905, proposait, pour le nouveau corps radioactif, le nom de « radiothorium ».

M. le Docteur Chevallier a identifié, par l'étude de la radioactivité induite, la production, pour l'Echailon, d'émanations du thorium signalé par M. Blanc, et les sédiments qui lui parurent les plus actifs furent prélevés non au fond, mais sur les parois du bassin chaud.

Utilisation des eaux, des sédiments

Nous savons déjà que la réputation des eaux de l'Echaillon fut grande à une certaine époque, grâce au docteur Favre, de Saint-de-Maurienne, qui, vers 1696, « les mit fort en vogue bien au delà de la Maurienne et de la Savoie » (1). Le roi Charles-Emmanuel de Sardaigne, en 1740, en faisait usage. Giobert, en 1822, consacre tout un chapitre aux propriétés merveilleuses de ces eaux, « qui sont une véritable eau naturelle alcalino-méphitique ». Leur efficacité a été reconnue dans « un grand nombre de maladies à étiquettes différentes, mais dépendant pour la plupart de la diathèse arthritique acquise, héréditaire directe ou dérivée » (2).

Actuellement, on emploie surtout les eaux de l'Echaillon en bains. On a recours beaucoup à l'action thérapeutique de l'émanation du thorium provenant des sédiments. M. le Docteur Chevallier, au moyen d'un appareil inventé par lui, fait respirer l'émanation aux malades et les résultats obtenus dans des cas d'anémie grave, d'uricémie, sont indiscutables et du plus haut intérêt.

Les sédiments, en application sur certaines plaies, amènent une cicatrisation rapide.

(1) J.-A. Giobert. *Des eaux thermales et acidules de l'Echaillon en Maurienne*, Turin, 1822.

(2) Docteur Danjou. *Radioactivité des eaux thermales de l'Echaillon*. Saint-Jean-de-Maurienne, 1909.

CONCLUSIONS

De l'examen géologique, on dégage nettement les relations des sources minérales avec la constitution chimique des terrains et avec les dislocations du sol.

Les eaux minérales, en Savoie, se caractérisent par leur relation avec le Trias. Elles appartiennent à la catégorie des eaux vadeuses ou neptuniennes, d'origine superficielle.

Les eaux de l'Echaillon se signalent par leur minéralisation, par leur thermalité, par la particularité de leurs sédiments fortement radioactifs.

Une variation importante, mais qui intéresse surtout l'élément NaCl, est survenue dans leur composition depuis 1881.

Un nouveau captage recueillera les eaux dans la roche, avant leur pénétration dans les alluvions. Il augmentera le débit, la thermalité, évitera les mélanges étrangers possibles. La radioactivité, en fonction de la pureté des eaux, sera plus intense.

<i>Vu :</i>	LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
LE DOYEN,	Et. BARRAL.
JEAN LÉPINE.	

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 23 Mai 1925

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
CAVALIER.

BIBLIOGRAPHIE

1. — RECHERCHES ANALYTIQUES

- E. BARRAL. — Précis d'analyse chimique qualitative et quantitative, 1904-1905.
- F. BAUCHER. — Analyse chimique et bactériologique des eaux potables et minérales, 1904.
- E. BONJEAN. — Identification des eaux minérales. Aquamétrie. (*Annales des falsifications*, juillet 1909.)
- J. CRIBIER. — Recherche de l'arsenic disséminé dans les médicaments chimiques. (*Thèse Doct. pharm.*, Paris 1921.)
- F. PRÉSÉNIUS. — Traité d'analyse qualitative et quantitative.
- JADIN et ASTRUC. — Précis d'hydrologie, de géologie et de minéralogie, 1920.
- C. SIGALAS. — Précis de physique appliquée à la pharmacie, 1905.
- F. TOUPLAIN. — Analyse générale des eaux, 1922.
- F.-P. TREADWELL. — Chimie analytique qualitative et quantitative. (*Traduction de E. Durringer et St. Goscinny*, 1910-1912.)
-

2. — GÉOLOGIE

- T. BONNET. — Description des glaciers, glaciers et amas de glace du Duché de Savoie, Genève, 1773.
- M. BOULE. — Conférences de géologie, Paris, 1911.
- T. BOURRIT. — Nouvelle description des glaciers, vallées de glaces et glaciers qui forment la grande chaîne des Alpes de Suisse, d'Italie et de Savoie, Genève, 1787.
- J. BOUSSAC. — Etudes stratigraphiques sur le mummulitique alpin, Paris, 1912.
- Ch. DÉPÉRET. — La classification des temps quaternaires et ses rapports avec l'antiquité de l'homme en Europe. (*Rev. gén. sc. pures et appliquées*, 1923.)
- H. DOUXAMI. — Etudes sur les terrains tertiaires du Dauphiné, de la Savoie et de la Suisse Occidentale, Paris, 1896.
- HAUG. — Traité de géologie, Paris, 1907.
- D. HOLLANDE. — Conférence sur les glaciers du massif du Mont Blanc, Chambéry, 1897.
- W. KILIAN et J. REVIL. — Etudes géologiques dans les Alpes Occidentales, Paris, 1904.
- Etudes sur la période pléistocène (quaternaire dans la partie moyenne du Bassin du Rhône, Grenoble, 1917.
- L. LAUNAY (DE). — Géologie pratique, Paris, 1920.
- G. MONTILLET (DE). — Géologie et minéralogie de la Savoie, Chambéry, 1858.
- J. REVIL. — Géologie des chaînes Jurassiennes et subalpines de la Savoie, Chambéry, 1911.
- J. REVIL et P. COMBAZ. — Glaciaire et Fluvio glaciaire du massif des Bauges, Chambéry, 1913.
- Ed. SESS. — La face de la terre, traduit par E. de Margerie, Paris, 1902.
- P. TERMIER. — Deux conférences de géologie alpine : Les schistes cristallins des Alpes occidentales, La synthèse géologique des Alpes, Paris, 1910.

3. — HYDROLOGIE

- V. BARBIER. — La Savoie thermale et minérale, Chambéry, 1878.
- J.-F. BELLEMIN. — Principales sources minérales du duché de Savoie, 1826.
- J. BERTHET. — Aix-les-Bains, ses thermes, traité complet descriptif et thérapeutique des eaux minérales, sulfureuses, alcalines, iodo-bromurées d'Aix, en Savoie, Chambéry, 1862.
- BERTHIER. — Analyse de l'eau de Salins et la Saline de Mou-tiers. (*Journal des mines*, t. 22, 1806.
- G.-A. BLANC. — Radioactivité des eaux thermales de la Savoie, Chambéry, 1906.
- BONJEAN. — Recherches chimiques, physiologiques et médicales sur les eaux de Challes, Chambéry, 1843.
- Analyse chimique des eaux minérales d'Aix, en Savoie, Chambéry, 1838.
- Analyse chimique de l'eau minérale sulfureuse alcaline de Marlioz, Chambéry, 1850.
- Dosage de l'iode et du brome combinés dans les eaux d'Aix et de Marlioz, Chambéry, 1857.
- Ch. CALLOUD. — Rapport sur la collection des eaux minérales de la Savoie, Chambéry, 1855.
- Rapports de la géologie avec l'hydrologie minérale de la Savoie, Genève, 1860.
- L'eau minérale de Challes : histoire, géologie, physique et chimie, physiologie et thérapeutique, Chambéry, 1874.
- P. COMBAZ. — Les eaux thermo-minérales d'Aix et de la Savoie, Chambéry, 1922.
- J. DACQUIN. — Analyse des eaux thermales d'Aix, en Savoie, Chambéry, 1773.
- D^r DOMENGET. — Considération sur les eaux minérales naturelles, sulfureuses, alcalines, iodurées, bromurées, glairineuses de Challes, en Savoie, Chambéry, 1855.

DUMOULIN. — De l'eau de la source de Salins et son emploi en thérapeutique, Paris, 1862.

EBRAY. — Sur la classification des eaux minérales de la Savoie en groupes coïncidant avec les failles. (*Bull. soc. géol. de Fr.* 2^e série, tome XXIV, 1867.)

FORAY. — Eaux salines froides de Pontamafrey, Chambéry, 1861.

P. HOLLANDE. — Sources sulfureuses bicarbonatées sodiques et bromo-iodurées de Challes, de la Boisserette, de Morion et de Cruet, Lyon, 1897.

JACQUOT et WILM. — Sources minérales de St-Gervais (Hte-Savoie); Allevard, Uriage et la Motte (Isère); Salins-Moùtiers et Brides (Savoie). (*Revue trav. com. consult. Hyg. publ. de Fr.*, t. XIX, 1890.)

KRAMER. — Analyse chimique de l'eau minérale, alcaline, magnésienne de St-Simon, Chambéry, 1853.

C. LAISSUS. — Les eaux thermales de Brides-les-Bains et de Salins-Moùtiers, Paris, 1881.

— Notice sur les eaux minérales de la Tarentaise. (*Rev. sc. Sav.*, 1876.)

C. LAUNAY (DE). — Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales, Paris, 1899.

LESSE (DE). — Recherches sur les eaux de la Savoie, (*Ann. des mines*, avril, 1881.)

G. MORTILLET (DE). — Origine des sources sulfureuses de la Savoie. (*Bull. soc. géol. de Fr.*, 2^e série, tome XIX, 1862.)

J.-L. RULLIER. — Eaux thermales de la Léchère à N. D. de Briançon, Chambéry, 1894.

J.-M. SOQUET. — Analyse des eaux thermales d'Aix-Chambéry, an XI.

— Essai analytique médical et topographique sur les eaux minérales gazeuses, acidulées et thermo-sulfureuses de la Perrière, près Môùtiers, Paris, 1824.

D' VINCENT. — Challes-les-Eaux, Chambéry, 1922.

4. — ETUDES ANTÉRIEURES SUR L'ECHAILLON

- G.-A. BLANC. — Sur la nature des éléments radio-actifs contenus dans les sédiments des sources thermales de l'Echaillon et de Salins-Moûtiers, Bruxelles, 1905.
- A. CHEVALLIER. — Recherches sur la radioactivité des sources de l'Echaillon, Lyon, 1923.
- G. DANJOU. — Radio-activité des eaux thermales de l'Echaillon en Maurienne, Turin, 1822.
- W. KILIAN et J. REVIL. — Sur les sources minérales de l'Echaillon, près St-Jean-de-Maurienne, Grenoble, 1902.
- S. TRUCHET. — Echaillon, voie romaine et eaux thermales, St-Jean-de-Maurienne. 1902.
-

TABLE DES MATIERES

Avant-Propos	7
Introduction.....	9
Généralités sur les Eaux Minérales.. ..	11
Chapitre Premier.— Géologie et Sources Miné- rales thermo-minérales de la Savoie.	15
Chapitre II.— Sources de l'Echaillon.....	39
Historique	43
Etat des Sources	48
Nature des Eaux.....	50
Chapitre III.— Méthodes de recherches.....	65
Chapitre IV. — Radioactivité des Sources de l'Echaillon	97
Conclusions.....	103
Bibliographie	105
